



Faculté de Sciences et Techniques de Marrakech
Département des Sciences de la terre

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Licence es Sciences et Techniques
Eau et Environnement

*Etude de l'impact du transport solide du canal Rocade,
sur la qualité de l'eau et sur l'irrigation. Techniques
naturelles de remédiation (Barrage Sidi Driss et le canal
de Rocade, Maroc)*

Réalisé par :
Mlle. JABOUN Karima
M. KOUZA Mohamed

Encadré par :
Pr. Khadija EL HARIRI (FSTM)
M. Fathallah SGHIR (ORMVAH)

Soutenu le 27 juin 2012 Devant le jury

Pr. Khadija ELHARIRI
M. E. Mohamed SAIDI
M. Ahmed TOUIL

FST de Marrakech (Encadrante)
FST de Marrakech (Examineur)
FST de Marrakech (Examineur)

Année universitaire 2011/2012

DEDICACES

A nos très chers parents,

Rien au monde ne pourrait compenser les sacrifices que vous avez consentis pour notre éducation et notre bien être, veuillez trouver dans ce travail le fruit de toutes vos peines et vos efforts.

A nos chers frères et sœurs,

Pour l'amour et le respect qui nous en toujours octroyés...

A nos enseignants & professeurs

Pour leur patience, dévouement et sacrifice.

A nos chers amis,

Pour leurs patiences et leurs soutiens qu'ils n'ont cessés d'apporter au cours de cette formation.



REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans le concours de plusieurs personnes, que nous tenons à remercier.

*Nos vifs et sincères reconnaissances s'adressent à Mme **EL HARIRI Khadija**, professeur à la FST-M pour son encadrement pédagogique très consistant ainsi que pour l'intérêt avec lequel elle a suivi la progression de notre travail, pour ses conseils efficaces, ses judicieuses directives et pour les moyens qu'elle a mis à notre disposition pour la réussite de ce travail tout au long de notre période de projet.*

*Notre gratitude s'adresse également à Mr **SGHIR Fathallah**, à l'ORMVAH notre encadreur au pour nous 'avoir donné l'opportunité de passer ce stage dans les meilleures conditions de professionnalisme, matérielles et morales, et pour ses directives et conduites dont il nous 'avait épargné à chaque fois qu'il était sollicité.*

*Nous tenons aussi à remercier l'ensemble du personnel du laboratoire de l'ORMVAH et précisément Mr **MORINO Ahmed**, le centre de gestion et télécontrôle du canal rocade ainsi que le laboratoire de la FST-M pour l'intérêt et les efforts qu'ils ont déployés pour nous garantir une meilleure formation.*

Nous devons une mention bien spéciale à tous les enseignants du département de la géologie de la FST Marrakech.

Enfin, nous tenons à exprimer notre sincère et profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

A tous Merci

SOMMAIRE

Sommaire.....	4
Résumé.....	5
Introduction	6
Partie 1 : Démarche générale et méthodologie du travail	7
I. Problématique et objectif de l'étude	7
II. Déroulement pratique du stage	7
III Contexte géographique et géologique et hydrologique de la région d'étude.....	7
Partie 2 : contexte de l'étude	11
I. Description du bassin versant de Sidi Driss.....	11
1. Climat.....	12
2. Présentation du barrage Sidi Driss	14
II. Problème d'érosion du bassin versant	14
III. La charge solide	16
1 Description et caractéristiques des sédiments	17
2. Calcul de la charge solide.....	18
Partie 3 : Caractérisation du Système de transfert de la distribution des eaux et impact de la charge solide.....	21
I. Structure et caractéristique géométrique du canal Rocate	21
II. Les prises d'eau du canal de la Rocate	23
III. Gestion et télécontrôle du canal Rocate	24
1. Présentation du Centre de Gestion et de Télécontrôle (CGTC)	24
2. Description et gestion du système de régulation dynamique :	24
a. Choix du mode de régulation dynamique :	24
b. Architecture et mode de fonctionnement :	25
VI. Etude d'impact des apports sédimentaires	26
a. sur l'irrigation.....	26
b. sur la qualité de l'eau	26
1. Caractéristiques physico-chimiques	27
2. La classification des eaux.....	36
Partie 4 : Quelques Solutions et techniques de remédiations.....	40
I. Les aménagements antiérosif du bassin versant	40
II. Au niveau du canal	42
1. Mesures préconisées par INGEMA pour réduire la charge solide au niveau du canal Rocate	42
2. Réduction de MES par l'ORMVAH dans le canal de Rocate.....	44
a. La démarche de curage	45
b. Les techniques de curage.....	45
3. Le devenir des sédiments extraits.....	47
4. Le bilan du curage	47
III. Traitement des eaux destinées à la consommation humaine.....	48
Conclusion général.....	49
Bibliographie	50
Liste des figures	51
Liste des tableaux	52
Liste des abréviations	53
Annexe 1	54
Annexe 2	56

RÉSUMÉ

La présence de la charge solide au niveau du canal Rcade a posé de nombreux problèmes surtout sur le bon fonctionnement du canal, sur bouchage des réseaux d'irrigation (gout à gout), ainsi sur la qualité des eaux du canal. Ce qui nous a poussés d'étudier son impact et aussi de proposer des solutions afin de diminuer son influence, augmenter la durée de vie du canal et assurer une irrigation continue et plus ou moins pure.

Durant la période de réalisation de ce projet de fin d'étude, nous avons effectué des analyses de l'eau dans diverses stations sises le long du canal étudié, soit in-situ, soit au laboratoire. Les actions entreprises ont concerné la mesure des paramètres suivants : température, conductivité (analyse in-situ) au laboratoire, le dosage des éléments suivants : les sulfates, les chlorures, le calcium, le sodium, le potassium, pour tous les échantillons ; la matière organique et les microorganismes (le DBO5 et DOC) en plus de la collecte de toutes les données sur les techniques utilisées dans le nettoyage du canal.

Il se dégage des résultats de recherche, et d'analyses que la MES du canal n'affecte pas la qualité des eaux, mais peut causer des problèmes de fonctionnement du canal surtout la diminution de la capacité de stockage d'eau ainsi le bouchage des réseaux d'irrigation. En d'épis de ces Problèmes, des solutions demeurent envisageables telles que l'installation des filtres automatiques le long du canal avec de diamètre, variables ou la réalisation des bassins décanteurs destinés pour l'irrigation.

INTRODUCTION GÉNÉRAL

Le Maroc est le pays du Maghreb qui bénéficie des ressources hydriques les plus importantes. Emploie 40 % de la Population active et produit 15% de la richesse nationale. Sous un climat marqué par l'aridité, cette activité est très dépendante de la pluviométrie annuelle. Il est également le pays qui, devrait connaître les problèmes de pénurie les plus graves dans l'avenir. La ville de Marrakech peut être considérée comme l'une des vitrines du modèle d'exploitation de l'eau marocaine, passée et actuelle.

La région de Marrakech - Tensift - Al Haouz - est située au centre du Maroc. L'essentiel de ses ressources en eau provient des oueds descendants d'un massif montagneux, l'Atlas (et notamment de l'oued Tensift) ainsi que de nappes phréatiques peu profondes. Ces ressources sont relativement importantes, mais pas inépuisables.

Dès l'indépendance (1956), l'Etat marocain a entrepris une politique ambitieuse de création de périmètres irrigués alimentés par de grands barrages. Dans la plaine du Haouz, autour de la ville de Marrakech, il a créé trois grands périmètres irrigués : le Tessaout aval, le Tessaout amont et le Haouz Central. Dans ce dernier, il a aménagé le périmètre du N'Fis à l'ouest de Marrakech avec un réseau de distribution sous pression. Ce périmètre concentre l'eau des bassins versants de l'oued Lakhdar et de l'oued N'Fis. Il est géré par l'Office de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH) (voir annexe 1).

Nous avons décidé d'entreprendre une étude qui portera sur l'impact du transport solide sur le canal rocade, sur l'eau potable et sur l'irrigation en utilisant des techniques de remédiations. Ce projet consiste à améliorer les techniques d'alimentation et d'irrigation utilisées jusqu'à présent et qui souffraient du problème de la consommation excessive de l'eau, vers des techniques plus économiques en matière d'exploitation d'eau. En effet, les ressources en eau tendent vers une pénurie globale suite au développement démographique et aux changements climatiques.

Le premier chapitre va traiter la démarche employée pour parvenir aux objectifs : analyser l'impact d'amélioration du mode de distribution de l'eau aux bornes d'irrigation et l'AEP, l'origine de l'eau. Le deuxième chapitre décrira le bassin versant de l'oued Lakhdar au niveau du barrage de Sidi Driss ainsi le canal de rocade et les transports solides qui s'y trouvent. La structure du réseau d'irrigation et d'AEP du périmètre N'fis sera analysée dans le troisième chapitre. Dans le quatrième, nous procéderons à une description de la qualité des eaux d'irrigation. Enfin le dernier chapitre exposera les techniques de remédiations naturelles et actuelles envisagées pour une meilleure exploitation de la totalité de la retenue du canal Rocate.

PARTIE 1 : DÉMARCHE GÉNÉRALE ET MÉTHODOLOGIE DU TRAVAIL

Dans ce premier chapitre, nous situons cette étude dans son contexte institutionnel. Nous présentons notamment l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH), Nous décrirons ultérieurement la méthodologie suivie, permettant d'atteindre les objectifs énoncés au tout début du chapitre et de répondre à la problématique qui est posée par la suite.

I. Problématique et objectif de l'étude

L'objectif de l'étude est l'optimisation de la qualité des eaux du bassin versant Sidi Driss, plus précisément les eaux du canal de la Rocate et ceci par l'amélioration des techniques de remédiations de la charge solide. Il s'agit en particulier d'étudier l'impact des apports sédimentaires sur la capacité de stockage d'eau dans le canal, ainsi que la qualité de l'eau d'alimentation et d'irrigation.

Parmi tous les problèmes auxquels sont confrontés les réseaux d'irrigation et d'alimentation en eau potable, celui du transport solide est rarement le plus important. En revanche, il est sans doute parmi les moins bien connus et maîtrisés. Il se pose souvent comme une contrainte financière importante dans les pays semi-arides et engendre des pertes d'efficience marquées.

Nous présenterons ici la méthodologie adoptée pour modéliser les différents processus et tester des solutions d'amélioration.

II. Déroulement pratique du stage

- Phase de recherches bibliographique et de recueil des données sur le terrain et de travail à l'ORMVAH.
 - i. Sortie de terrain pendant 2 jours pour visiter la zone d'étude (le barrage Sidi Driss et le Canal Rocate).
 - ii. Visite des sociétés concernées (Direction régionale des Eaux et Forêts, Centre de Gestion et Télécontrôle du Canal de Rocate).
 - iii. Séjour au laboratoire de l'ORMVAH et du Centre National de Recherche sur l'Eau et l'Energie Renouvelable (CNEER) pour effectuer les analyses nécessaires.
- Phase d'analyse des informations collectées et rédaction du mémoire de fin d'études.

III. Contexte géographique, géologique et hydrologique de la zone d'étude

a. Situation géographique :

La zone d'étude est constituée du bassin versant intermédiaire de l'oued Lakhdar, situé entre les deux barrages : Moulay Hassan 1er en amont et Sidi Driss à l'aval, sur une superficie de 126300 ha, exactement dans la partie Nord-Est du Haouz (le Haouz Oriental) Elle est limitée au Sud et en Est par les reliefs du Haut Atlas, en Ouest par la ville de Tamelelt (Figure1) et le canal

de Rocate qui est l'un des principaux adducteurs du Haouz Central, dont les terrassements ont démarré en 1953. Il permet le transfert d'eau vers le Haouz Central d'un volume moyen annuel de 300 Mm^3 à partir du complexe hydraulique HASSAN 1er - SIDI DRISS et il est d'une longueur de 118,5 Km dont 20 Km de tête morte, le canal est prolongé à son extrémité par un autre canal de 7,5 Km avec un débit de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ pour alimenter un bassin de régulation nommé Bassin 520, en tête de deux conduites desservant un réseau sous pression pour l'irrigation du N'fis.

Il est décomposé en sept biefs à l'aval, de chacun d'eux est implanté un régulateur. Il suit un tracé presque parallèle avec l'oued Tensift.

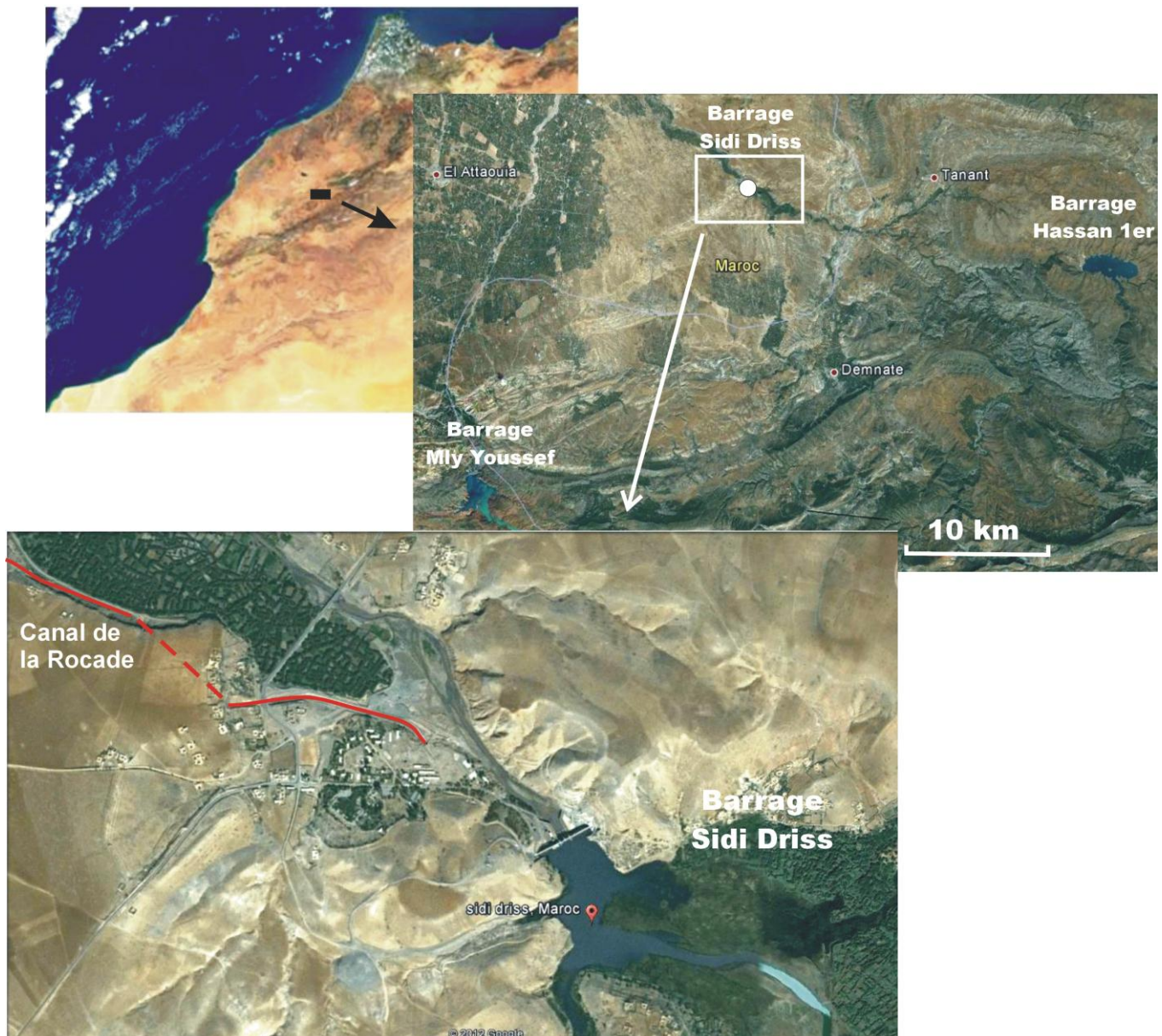


Figure 1: Situation géographique de la région d'étude (Jaboun, Kouza)

b. Géologie générale

La zone d'étude couvre principalement des terrains paléozoïques à l'actuel. Il est constitué du :

1- Paléozoïque :

Ces terrains constituent le massif de jebilet, limitant la zone d'étude au nord ouest et par les Haut Atlas au sud est. Ces terrains sont essentiellement formés de pélites, grès, quartzites et des argiles avec des carbonates au Dévonien.

2- Mésozoïque :

Constitué essentiellement par des intrusions du basalte doléritique du Trias, difficilement identifiés au centre, et le Jurassique Inférieur est formé par les silto argileux, et le calcaire dolomitique, calcaire marneux et parfois des dolomies.

3- Cénozoïque :

Représenté essentiellement par le Mio-Pliocène. Il affleure au milieu sous forme d'encroutements avec un faciès essentiellement gréseux et deviennent argilo- gréseux.

4- Quaternaire :

Ces sédiments résultent des produits de démantèlement de la chaîne atlasique.

Les dépôts sont constitués essentiellement de limons rouges, d'alluvions et d'argiles.

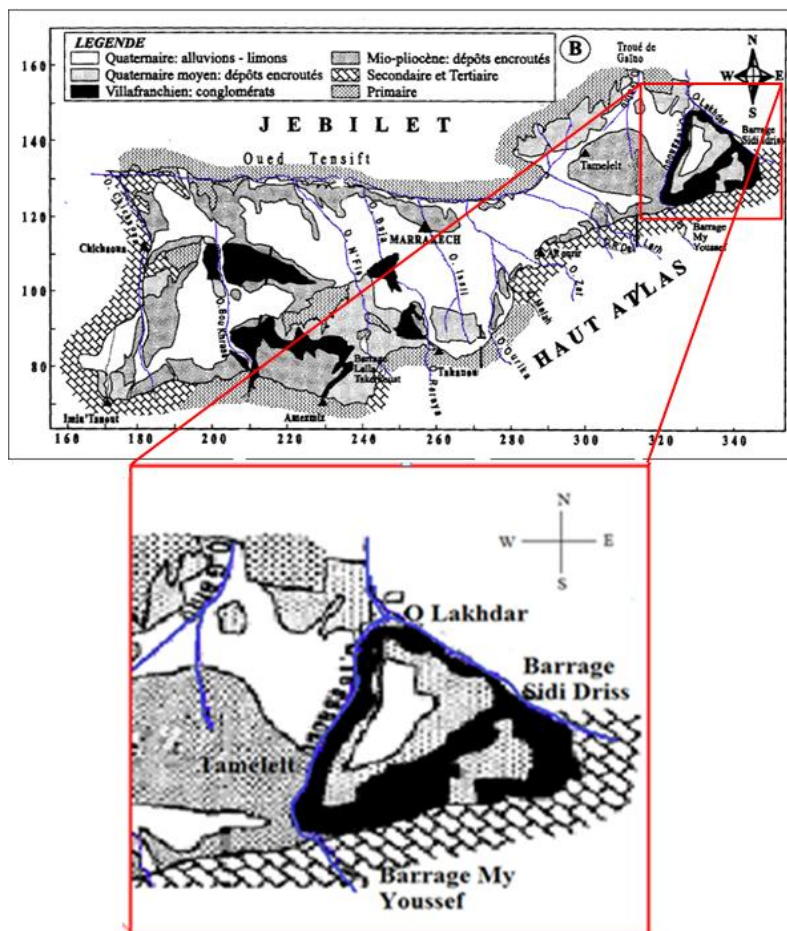


Figure 2 : Carte géologique de la région d'étude (Lamy.Kacem 2010)

c. Cadre hydrologique

Le réseau hydrographique est composé de l'ensemble des Oueds : Oued Mhasser, Oued Taninit et Oued Ghzat, qui débouchent dans l'Oued principal appelé Oued Lakhdar. Ce dernier orienté vers l'Ouest, Joue un rôle de collecteur des eaux de surfaces. Cependant, il connaît des aménagements hydro-agricoles en vue d'y diminuer l'impact de la charge solide. Il joue un rôle primordial dans la l'alimentation de la ville de Marrakech en eau potable, joue un rôle important dans l'irrigation des terrains agricoles via un canal principal auquel sont connectés différents canaux et Seguia. (Figure. 3)

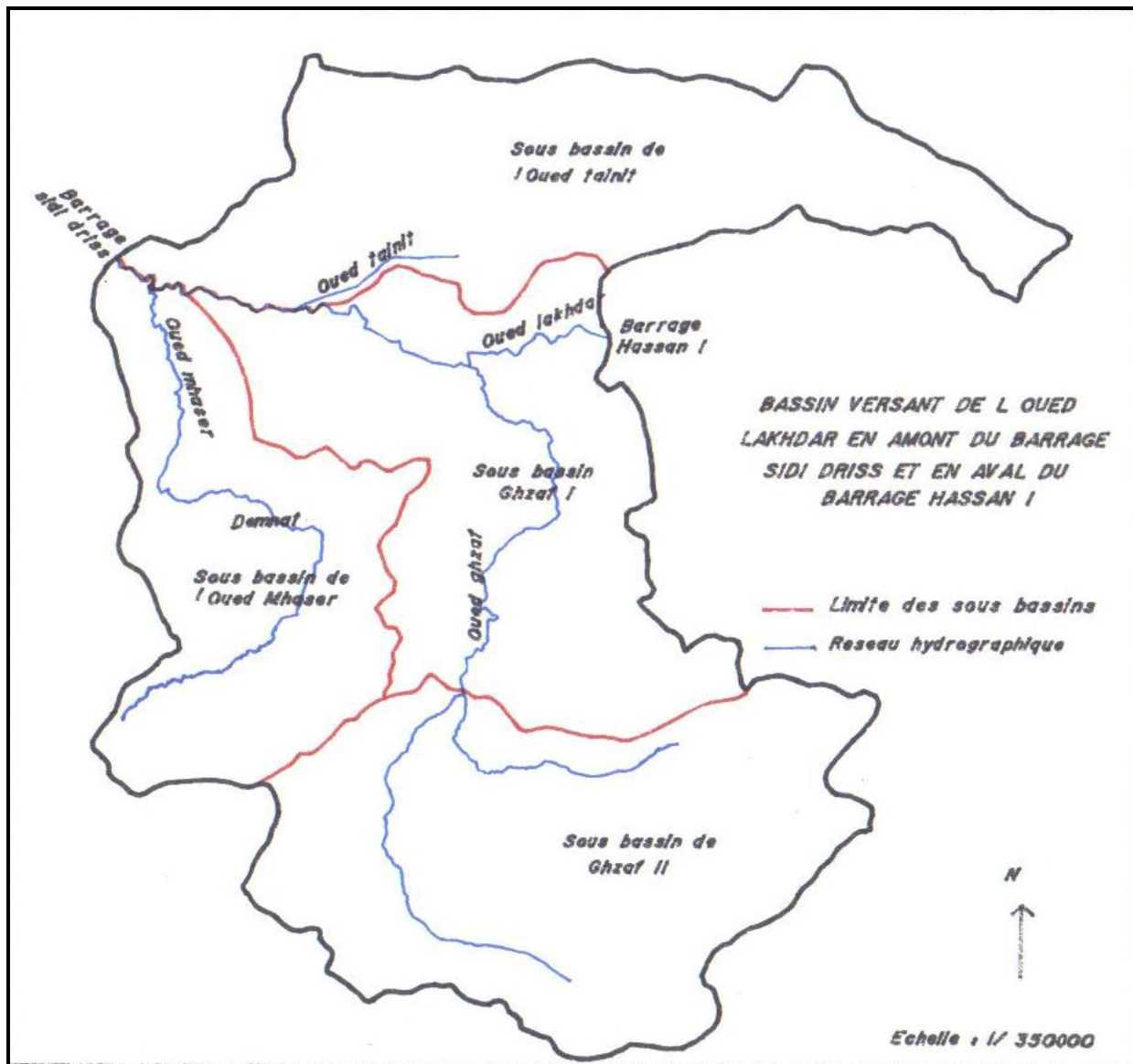


Figure3 : Carte hydrologique des affluents d'Oued Lakhdar (ORMVAH)

PARTIE 2 : CONTEXTE DE L'ÉTUDE

I. Description du bassin versant de Sidi Driss

La zone d'étude est constituée du bassin versant intermédiaire de l'oued Lakhdar, situé entre les deux barrages Moulay Hassan 1er en amont et Sidi Driss à l'aval, sur une superficie de 126 300 ha. Elle constitue l'impluvium de la retenue Sidi Driss qui a été presque totalement envasée à la fin des années 80. Tous les facteurs naturels et socio-économiques font que l'érosion hydrique y soit intense. Le relief est très accidenté, les substrats sont tendres, les précipitations sont orageuses et le couvert végétal est très dégradé. Le curage de la retenue, en 1991, a coûté plus que le prix de construction du barrage, environ 2 Milliards de dirhams (200 millions d'Euro). Dans l'objectif de ralentir son envasement une seconde fois et contribuer à instaurer une gestion durable des ressources naturelles, le gouvernement marocain, avec l'aide de la communauté européenne, a lancé depuis 1993 l'étude et l'aménagement du bassin versant de Sidi Driss (BVSD).

Le BV SD se compose de trois zones plus ou moins homogènes du point de vue du relief. La zone aval comprenant toute la partie située entre Demnate, Sidi Driss, Tanant, Ait Aqqa et Ouaoula. Les pentes sont faibles à moyennes. Elle correspond essentiellement au bassin de l'oued Tainit et la partie aval du M'hasser. Une zone intermédiaire, de moyennes montagnes et de pentes faibles, moyennes à fortes, correspondant à la zone comprise entre les deux chaînes montagnardes, jbel Asloun et Tamadoute au sud et jbel Imin'ifri et Jiber au nord. La zone appelée « Iwaridene » y constitue une vallée à pente faible à moyenne(ORMVAH).

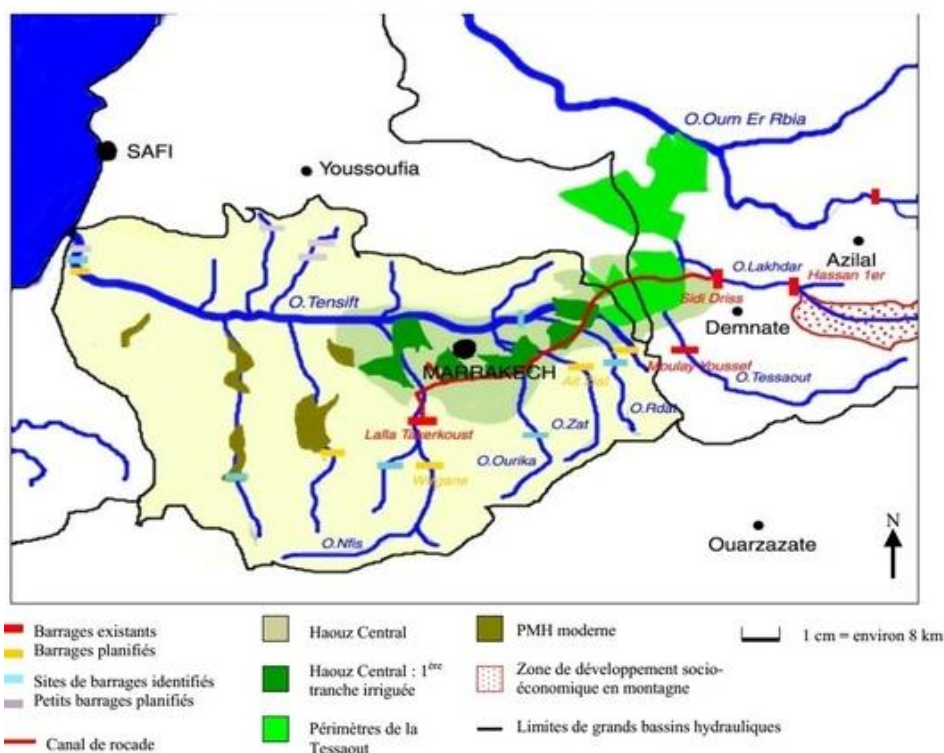


Figure 4 : Evolution de la répartition spatiale des aménagements hydrauliques du Haouz(ORMVAH)

Le bilan morpho-dynamique du bassin intermédiaire met en évidence trois types de faciès :

- Les milieux stables avec des risques faibles à modérés d'érosion sur les piémonts et les plaines qui se traduisant par une érosion diffuse, discontinue sur les sols dénudés ou en cas de forte crue, en milieux tendres, par des ravinements et des sapements modérés de berges de rivières.
- Les milieux instables avec risques d'érosion faibles en moyenne et haute montagne sur les milieux détritiques ou rocheux : érosion par gravité (éboulis) mais sans transport.
- Les milieux instables avec risques d'érosion élevés dans les systèmes de collines en raison principalement d'une lithologie défavorable : érosion en nappe et solifluxion.

Les substrats dans le bassin sont classés en quatre groupes de dureté:

FACIES	DURETE
Dolomies ; Calcaires ; Gabbros	Très dure
Eboulis cuirassés ; conglomérats et blocs ; Travertins ; Grès	Dure
Formations mixtes de : Grès-marnes-pélites, Marnes-calcaires, Marnes-dolomies-grès-pélites, Marnes-conglomérats, Basaltes-gabbros- marnes, Conglomérats-limons; Calcaires lacustres du Trias ; Basaltes	Moyennement tendre
Schistes; Alluvions quaternaires	Tendre

Tableau 1 : Classification des substrats dans le bassin versant

1. Climat

La région de Tensift Haouz se caractérise par un espace riche et varié en raison de sa situation géographique. Le climat est généralement froid et aride dans la plaine et humide dans la chaîne de l'Atlas avec de faibles précipitations annuelles (240 Mm/an en moyenne) avec des chutes de neige importante au niveau des hautes altitudes .Ce constat se traduit par une importante vaporisation.

Du point de vue pluviométrie, la région de Tensift Haouz est la plus arrosé car les précipitations sont faibles et ne répondent pas à tous les besoins de l'agriculture dans la région (300 mm/an)

Cette pluviométrie est caractérisée par une grande variabilité spatio-temporelle. En effet, 82 à 97 % des précipitations se produisent en période humide allant du mois d'octobre en avril.

Mois	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08
Précipitations en (mm)	9,0	31,7	46,7	38,9	45,0	46,9	51,8	42,9	25,1	10,5	1,9	10,5
Températures en (°C)	23,2	19,5	15,5	12,9	11,0	12,3	15,4	17,5	20,2	24,2	28,8	28,6

Tableau 2 : Moyennes mensuelles de température et de précipitation d'une série de 20ans (1990- 2010)

Après avoir traité les données du tableau ci dessus de précipitation et de température, nous avons obtenu le diagramme ci-dessous :

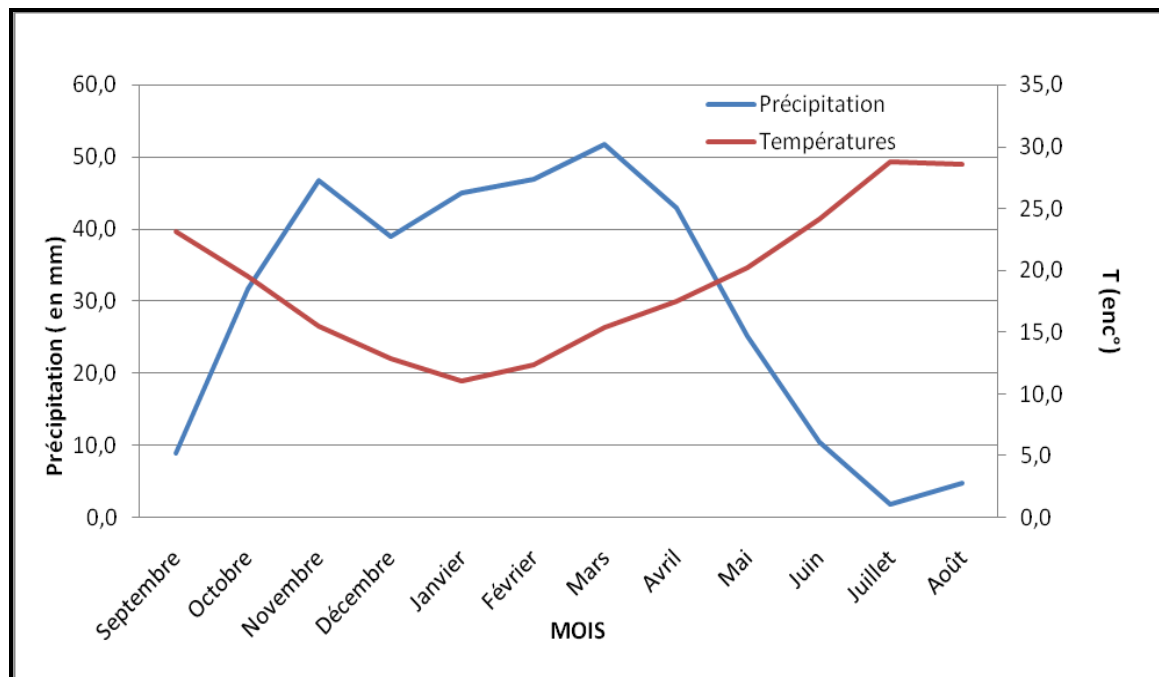


Figure 5 : Diagramme de la moyenne mensuelle de température et de précipitation d'une série de 20 ans (1990- 2010)

Le constat enregistré à partir de ce diagramme c'est que la région de Tensift Haouz a connu ces 20 dernières années, une augmentation de la température et une faiblesse des précipitations mensuelles, du mois de septembre suivis d'une augmentation de la température dans les mois qui suivent.

D'autre part, la quantité de pluie augmente dans les 7 premiers mois avec une petite baisse au mois de décembre, suivi d'une baisse dans les mois qui suivent.

2. Présentation du barrage Sidi Driss

Situation	14 km au Nord-ouest de Demnate
Date de mise en service	1983
Débit solide spécifique	192 m ³ /km ² /an
Capacité de la retenue	7 M m ³ , actuellement ne dépasse pas 2 M m ³
Envasement moyen annuel	0,45 M m ³
Taux annuel de l'envasement	18%
Volume de la tranche morte	3,1 M m ³
Durée de vie	25 ans

Tableau 3 : Caractéristiques du barrage Sidi Driss

II. Problème d'érosion du bassin versant

Le bassin versant présente une répartition spatiale particulière des formes et des intensités de l'érosion hydrique. Les zones les plus érodées, où l'on observe un décapage complet du sol et donc une apparition des roches mères, sont associées d'abord à une couverture végétale naturelle éradiquée ou réduite au minimum. Quand le couvert végétal est dégradé, l'infiltration diminue et le ruissellement augmente en débit et se concentre dans l'espace et le temps. Les actions d'abrasion et de transport du ruissellement deviennent de plus en plus actives, notamment sur les substrats tendres (schistes, marnes, permo-trias, ...). Le ravinement se généralise et le paysage évolue en bad-lands. L'action du ruissellement devient de plus en plus agressive au fur et à mesure que la pente augmente. Quand la couverture végétale devient de plus en plus réduite et le sol est déstructuré (labour même rare), l'effet de la pente devient de plus en plus important. Avec des occupations des sols similaires et des substrats de duretés comparables, l'érosion est plus intense sur les pentes fortes. A travers les observations de terrain, on peut constater que les deux facteurs qui dominent dans l'installation et le développement des formes d'érosion sont la perturbation de la surface du sol (diminution de la couverture végétale, labour, pâturage) et la pente.

Dans le processus d'érosion des sols qui conduit au transport de sédiments et à l'envasement des retenues de barrage, il y a lieu de considérer plusieurs phénomènes d'amont en aval :

- L'érosion en nappe qui résulte de l'enlèvement par la lame d'eau de particule de terres sur les sols dénudés et pentus,
- Le ravinement qui se produit lorsque les rigoles s'anastomosent sur sols tendres et que les écoulements n'est pas ralentie par des obstacles naturels ou non,
- La solifluxion (glissement de terrain) qui touche les sols argileux ou marneux sur socle imperméable.

Le tableau suivant représente les moyennes des apports et des précipitations du barrage Sidi Driss des dix dernières années.

	Apports en m3	Précipitations en mm
janvier	11518965,92	44,12
février	9902912,25	41,69
mars	14063448	50,035
avril	6857455,083	32,325
mai	6352700,583	22,925
juin	2543978,667	5,11
juillet	903650,5833	0,505
août	1588249,167	0,72
septembre	3720782,667	3,455
octobre	4242978,667	29,7
novembre	7987199	43,75
décembre	5794869,083	31,265

Tableau 4 : Moyennes mensuelles des précipitations et les volumes des apports durant la dernière décennie (2000-2011) dans le barrage Sidi Driss

Le diagramme ci-dessous présente l'évolution des moyennes mensuelles des apports et les précipitations du barrage de Sidi Driss durant la période entre 2000 et 2011 :

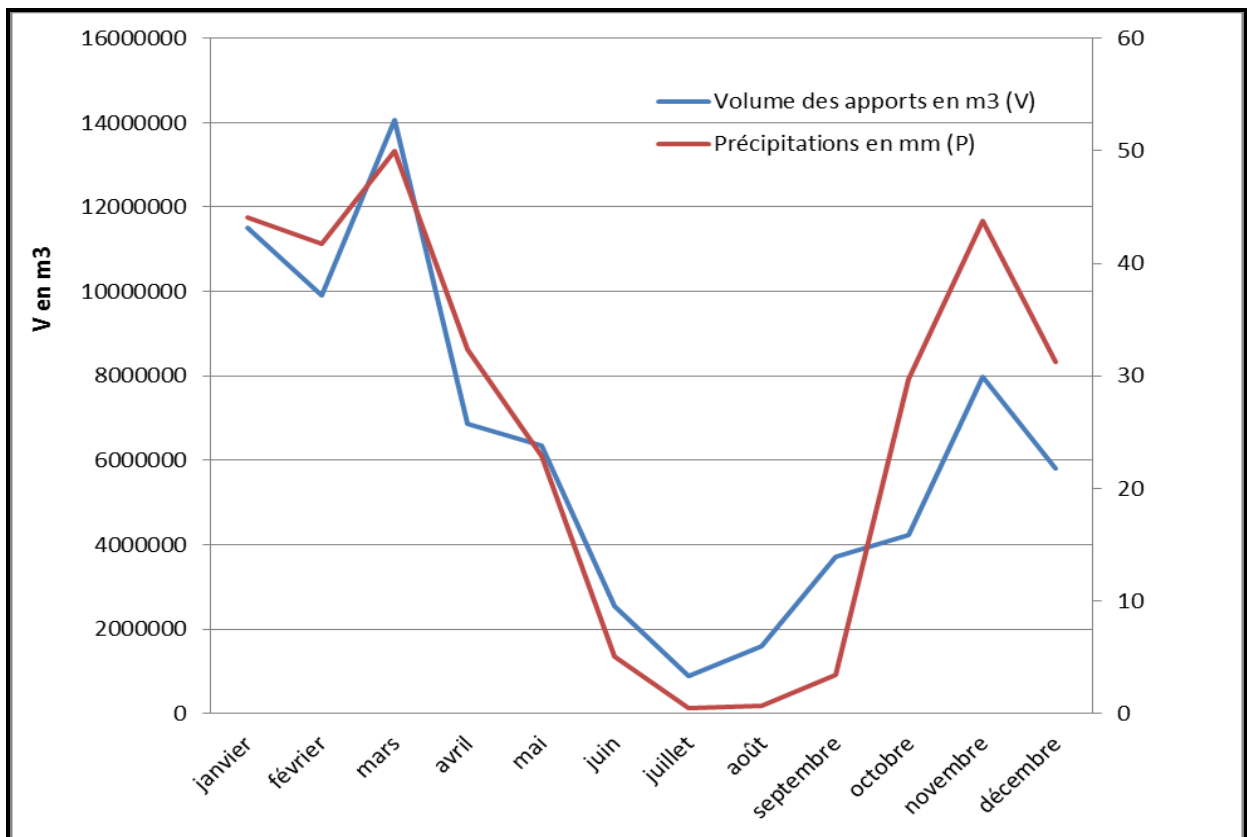


Figure 6 : Graphique représentant l'évolution des moyennes mensuelles des précipitations et le volume des apports durant les derniers 10 ans (2000-2011) du barrage Sidi Driss

D'après le graphique ci-dessus, on constate que les précipitations sont la principale cause de l'action érosive hydrique (augmentations du volume des apports). La pluie intervient par la destruction des agrégats (par la vitesse de chute des gouttes), dans l'enlèvement et le transport des particules détachées. On constate notamment que les volumes les plus importants sont transportés au barrage Sidi Driss pendant les périodes de crues (généralement de novembre jusqu'à avril).

La sédimentation de la cuvette du barrage Sidi Driss constitue une des raisons qui ont conduit à la formation du projet d'aménagement anti érosif de la Direction Régional des Eau et Forêts (DREF). Le barrage a été mis en eau en 1984 avec une capacité de stockage de 7.2 millions de m³. La cuvette a reçu, avant la création du barrage Hassan 1er, c'est-à-dire durant deux années, les apports solides de l'ensemble du bassin versant. En 1989 elle était pratiquement comblée et sa capacité n'était plus que 1.5 Mm³. Une opération de curage a permis de récupérer 2.1 Mm³. Mais, au rythme actuel, ce très faible volume risque d'être rapidement à nouveau rempli (entre 5 et 15 an d'après DREF).

III. La charge solide

Elle est parmi les points faibles de la construction du Canal Rocate, car les responsables du projet (association française et marocaine) n'ont pas pris en considération la contrainte des apports charriés dans la conception de ce dernier. Mais malgré cela, on va essayer de résoudre le problème d'envasement de l'ouvrage par des techniques que nous allons citer ultérieurement dans le dernier chapitre.



Figure 7 : Photo illustrant les sédiments présents dans le barrage Sidi Driss

1. Description et caractéristiques des sédiments

Le sédiment est un matériau issu de l'érosion, transporté et déposé par le cours d'eau, et n'ayant pas encore subi de transformation diagénétique (passage à une roche sédimentaire par compression des sédiments, accompagnée d'une évacuation de l'eau et de la pression).

Un sédiment se caractérise essentiellement par :

- sa granulométrie.
- sa composition minérale.
- sa teneur en eau et en matière organique.

Le tableau ci-dessous résume les différentes caractéristiques des sédiments :

La granulométrie	La répartition de fréquence de taille des grains explique la répartition des sédiments dans un milieu aquatique. En effet, les grosses particules restent en amont tandis que les plus fines se retrouvent en aval. La vitesse du courant est également un facteur qui conditionne la sédimentation : plus le courant sera faible, plus la sédimentation sera importante. • Le classement granulométrique des sédiments utilisé en géologie: > 20 cm : Blocs 2 cm à 20 cm : Galets et cailloux 20 mm à 2 cm : Gravier 20 µm à 2 mm : Sables (grossiers et fins) 2 µm à 20 µm : Limons (ou silt) < 2 µm : Vases, boues argileuses
La composition minérale	La composition minérale des sédiments est variable en fonction de sa provenance : - les blocs, les cailloux, les graviers et les sables sont les sédiments apportés par l'érosion du bassin versant dans un lac; leur nature chimique dépend essentiellement des terrains érodés. - les sables sont essentiellement quartzeux (silice SiO₂) ou silicatés (mica, feldspath), souvent accompagnés de minéraux lourds (amphiboles, grenats, disthène...) qui dépendent de la nature des sols érodés. On trouve aussi des sables calcaires (ex : les sables de la Seine) - les particules les plus fines, limons, boues et vases, sont composées de minéraux argileux d'origine terrigène, et aussi des squelettes d'organismes d'origine endogène.
La teneur en matière organique	La proportion de matière organique dans la matière sèche des sédiments varie entre 90%, dans le cas de la tourbe, et 2% pour les sables de rivière. La composition de cette matière organique est généralement identique d'un type de sédiment à un autre. En général, la proportion de matière organique est de l'ordre de 2 à 10% pour les sédiments des cours d'eaux tel que le canal Rcade, et elle est constituée à 60% de composés humiques qui a rapport avec l'humus, c'est à dire l'ensemble des matières organiques stables se trouvant dans la couche superficielle d'un sol.

Tableau 5 : Caractérisations des sédiments**2. Calcul de la charge solide**

Pour calculer la quantité de la charge solide, Fournier (cité par Olivry, 1991) établit une formule en prenant en compte les précipitations et la morphologie du bassin versant :

$$E = (1/36).(Ps^2/Pa)^{2,65}. (H^2 /S) 0,46$$

Avec :

- E : apport solide annuel spécifique moyen (1/km² .an)
- Pa : pluie annuelle (mm)
- Ps : pluie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux
- H : dénivelée moyenne
- S : superficie (km²).

Certains auteurs ont établi des équations d'estimation des pertes de sol en tenant compte de divers facteurs de l'érosion. En effet, de crue en crue, les bassins versants perdent les particules solides issues de l'altération des roches mères et qui vont constituer les sédiments transportés. La nature de l'écoulement ainsi que la quantité de sédiments érodés et transportés sont directement liés à la nature et la morphologie du bassin versant. Sans négliger les formules données par de nombreux chercheurs, nous citons essentiellement l'équation universelle la plus utilisée dans le monde. Il s'agit de l'équation de Wischmeier et Smith (cité par. Olivry, 1991):

$$A = (0,2242).R.K.LS.C.P$$

Avec :

- A : pertes annuelles en sol (kg/m²)
- R : indice d'agressivité climatique (érosivité)
- K : indice de sol (érodibilité)
- LS : indice de pente et longueur de pente
- C : indice de culture caractérisant la couverture végétale
- P : indice des aménagements utilisés pour lutter contre l'érosion
- 0,2242 : constante permettant l'obtention du résultat en unités numériques

De nombreux travaux ont montré que la charge solide est généralement bien corrélée avec le débit fluvial, c'est presque le même cas de canal Rocate.

La relation entre la charge solide Cs et le débit Q est exprimé avec l'expression suivante :

$$C_s = 0.001 * Q^{1.66}$$

Cette relation est attribuée dès 1935 par Hjiilstrom, et plus récemment modifiée par Milliman (1980) et Wood (1977).

Avec la relation précédente on a pu calculer la charge solide du canal selon les débits entrant :

Mois	Débit en m3/s	charge en mg/l
avr-11	7,5	28,5
mai-11	5,5	16,8
juin-11	7,2	26,6
juil-11	7,8	30,4
août-11	7,9	31,1
sept-11	7,6	28,8
oct-11	6,8	23,8
nov-11	2,9	5,9
déc-11	5,4	16,2
janv-12	6,4	21,5
févr-12	6,6	22,8
mars-12	8,0	31,6
avr-12	5,4	16,2

**Tableau6 : Débit de l'eau et charge en matière en suspension calculés pour la période
Avril 2011_Avril 2012**

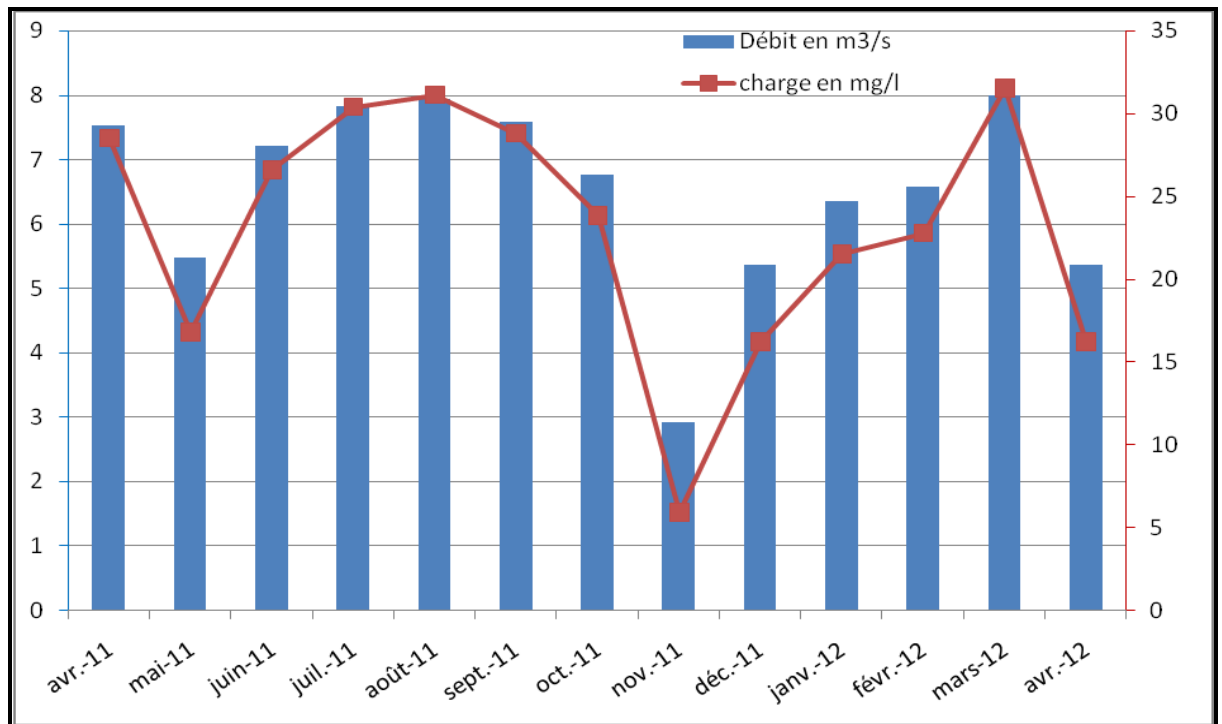


Figure 8 : Histogramme présentant l'évolution du débit d'eau et la charge solide durant la période d'avril 2011 en avril 2012

On peut constater nettement une bonne corrélation entre le débit d'écoulement d'eau et la concentration de la charge solide. On note également que les périodes qui connaissent une concentration élevée de la charge solide sont celles correspondant aux crues et présentent deux anomalies :

- Une période sèche qui dure du mois juin jusqu'au mois octobre.
- Une période humide entre le mois de décembre jusqu'à avril.

PARTIE 3 : CARACTÉRISATION DE SYSTÈME DE TRANSFERT ET DE LA DISTRIBUTION DES EAUX ET IMPACT DE LA CHARGE SOLIDE

Les études ont démontré que la région du Haouz est dépourvue d'eau pour irriguer ses vastes plaines et alimenter ses régions, les khétaras utilisées autrefois ne suffisaient pas. La région exige de grandes quantités d'eau. Pour cela, un gigantesque programme hydraulique régional a été entrepris en 1928-1929 dans lequel est prévu la construction du barrage d'Ait Chouarit (barrage Hassan premier), suivi de son barrage de compensation et de prise de Sidi Driss sur l'oued Lakhdar et le canal de Rocate (Figure 8) qui va transférer le volume d'eau nécessaire à l'irrigation et à l'alimentation du Haouz Central.



Figure 9 : Photo illustrant une partie du canal Rocate

I. Structure et caractéristique géométrique du canal Rocate

Le canal de Rocate est l'un des principaux adducteurs du Haouz Central, dont les terrassements ont démarré en 1953. Il permet le transfert vers le Haouz Central d'un volume moyen annuel de 300 Mm^3 à partir du complexe hydraulique HASSAN 1er - SIDI DRISS réparti comme suit :

Les principales caractéristiques géométriques et hydrauliques du canal sont :

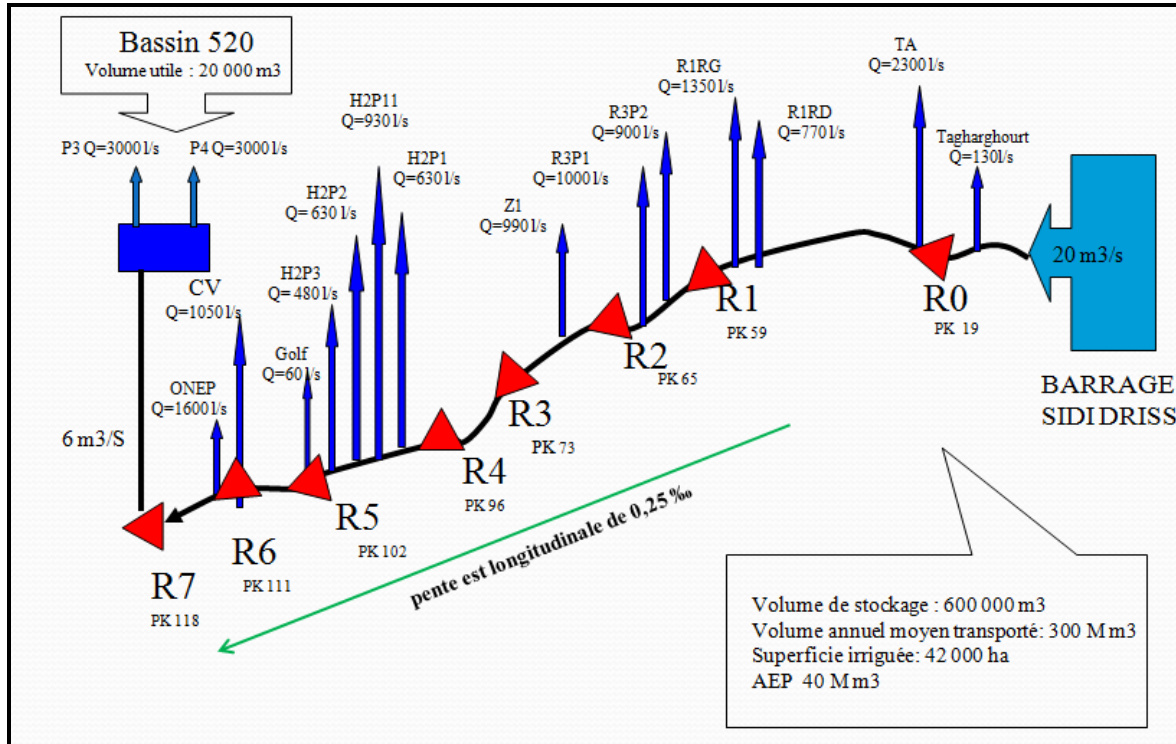


Figure 10 : Schéma simplifié de l'extension du canal Rcade situant les différentes prises d'eau réalisées lors de la présente étude

Biefs	1	2	3	4	5	6	7
Volume d'eau (m³)	120 000	120 000	120 000	160 000	160 000	130 000	110 000
Longueur(Km)	59 ,508	5,497	15,757	29,528	12,925	9,229	7,149
Capacité de débit (m³/s)	20				18	16	12

Tableau 7 : Le volume, la longueur et le débit des biefs du canal de Rcade

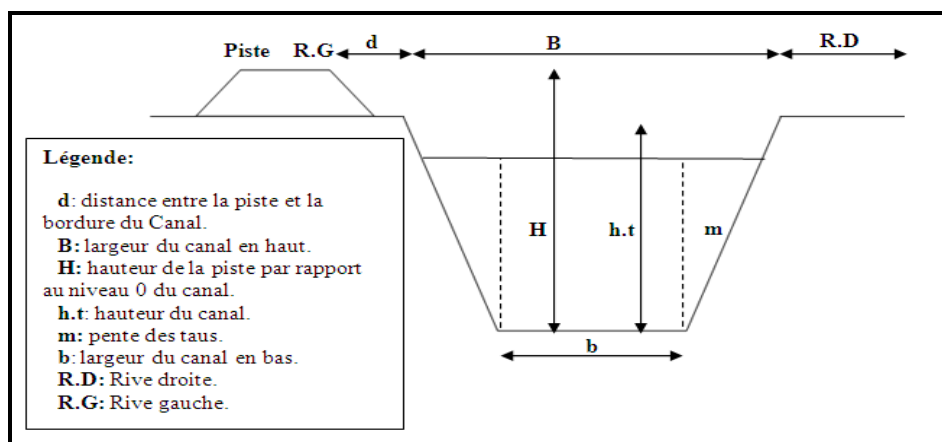


Figure 11 : Schéma représentant la section transversale du canal Rcade

Le canal est prolongé à son extrémité par un autre canal de 7,5 Km avec un débit de 6 m³/s pour alimenter un bassin de régulation (nommé Bassin 520), d'une retenue de 20 000 m³ en tête de deux conduites desservant un réseau sous pression pour l'irrigation d'environ 17 000 Ha du périmètre du N'fis. Il est décomposé en sept biefs à l'aval, de chacun d'eux est implanté un régulateur. Il suit un tracé presque parallèle avec l'oued Tensift.

II. Les prises d'eau du canal de la Rocate

Le canal est parsemé de prises d'eau destinées à différents usages (eau potable et irrigations). Les proportions de ces distributions se présentent comme suit (tableau voir annexe 2) :

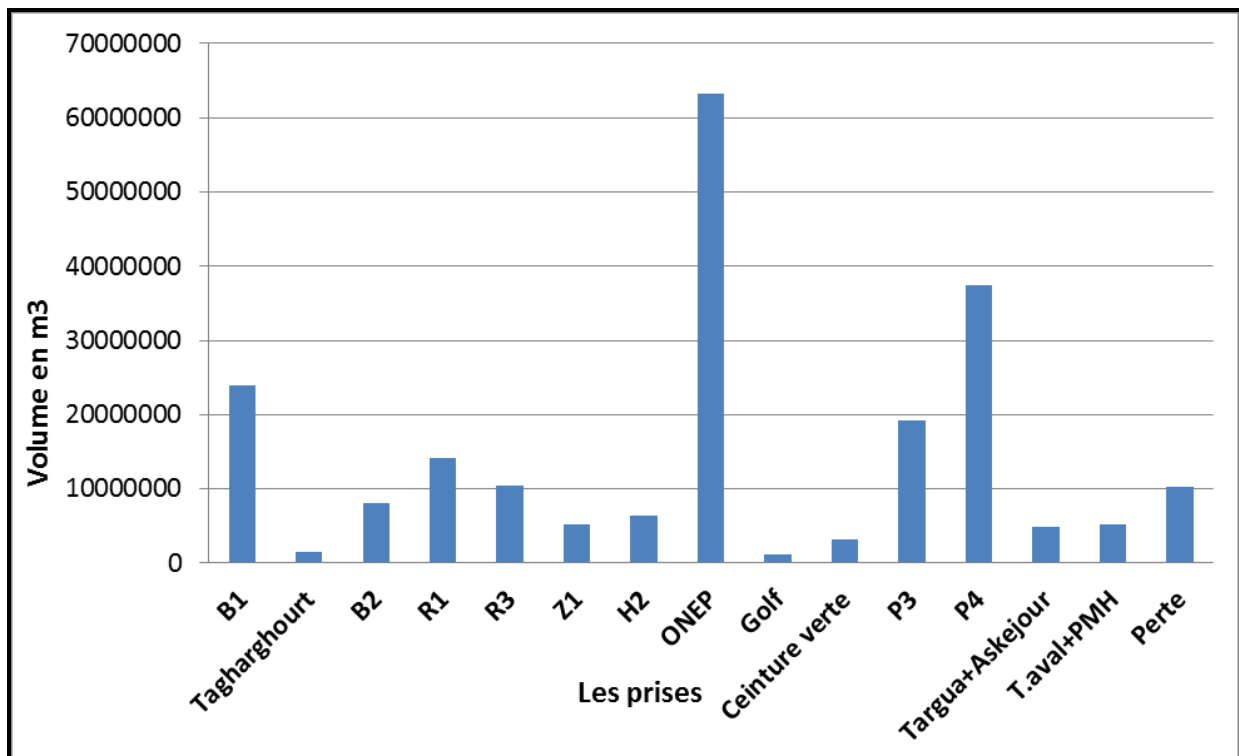


Figure 12 : Volumes d'eau consommés en m³ par les prises du canal Rocate en 2011

D'après la figure ci-dessus, on peut relever un certain nombre de remarques s'articulant autour de la problématique de la gestion rationnelle de l'eau :

- La grande part des eaux en provenance du barrage Sidi Driss est destinée à l'utilisation comme étant eau potable par l'ONEP, ce qui démontre l'augmentation de la demande en eau vu le nombre de construction.
- Depuis les années 80, le Maroc connaît en général un climat sec avec moins en moins de précipitations. Ceci engendre une demande d'eau d'irrigation, plus excessive sur les retenues des barrages.

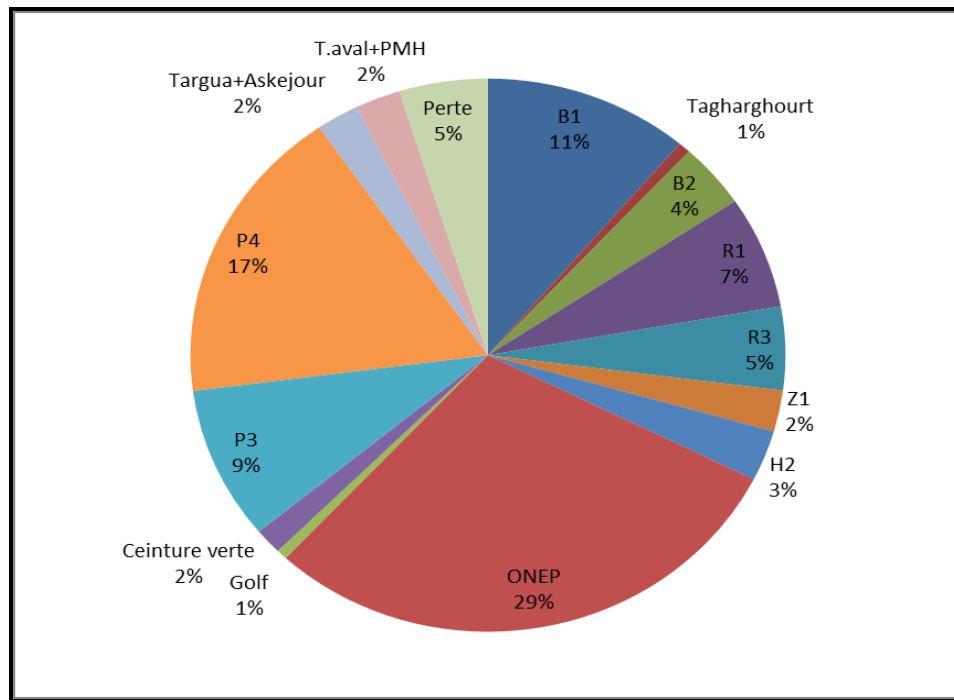


Figure 13 : Pourcentage du volume d'eau consommée par les prises du canal Rcade en 2011

III. Gestion et télécontrôle du canal Rcade

1. Présentation du Centre de Gestion et de Télécontrôle (CGTC)

Le centre de gestion et de télécontrôle (CGTC) a été créé pour résoudre le problème concernant le fonctionnement d'adductions d'eau transitant des débits sur de longues distances, et d'ajuster les débits pour satisfaire convenablement les demandes en eau d'irrigation et en eau potable de Marrakech, à la fois sans défaillance et évitant les pertes.

Le CGTC commande le canal rocade et le canal N'fis à distance à l'aide d'un système moderne de régulation. Ce centre a pour rôle la gestion et la supervision du fonctionnement du système ainsi que la maintenance préventive des équipements.

2. Description et gestion du système de régulation dynamique :

a. Choix du mode de régulation dynamique :

Les critères de base de l'étude qui avaient guidé le choix du mode de régulation à adopter, sont tous en faveur d'une régulation dynamique. Ils sont comme suit:

- la recherche de l'économie de l'eau, surtout dans cette zone semi-aride ;
- la recherche de l'économie du projet par la réduction ou l'élimination de grands réservoirs tampons.
- la sécurité de fonctionnement vu l'importance particulière de l'irrigation et de l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech (réduction du temps de réponse et surveillance continue des équipements et de l'état hydraulique du canal).
- l'adaptation du mode de desserte à la demande surtout pour les réseaux sous pression.

b. Architecture et mode de fonctionnement :

La régulation dynamique est définie comme étant un système d'exploitation centralisé. Son but est d'assurer la maîtrise du mouvement de l'eau tout le long des canaux pour satisfaire les besoins en eau. Mais aussi de faciliter la tâche des exploitants de procurer et de garantir une sécurité de fonctionnement, son procédé est défini de la façon suivante: elle gère de façon globale les volumes dans les différents biefs du canal en fonction du planning ou des prévisions du bureau d'exploitation du réseau et des centres de mise en valeur (CMV).

Au niveau du CGTC, un système informatique est installé et s'occupe de la gestion globale des volumes d'eau en transit :

- Il fait le bilan des apports, prélèvements et réserves ;
- Il calcule suivant les lois prévisionnelles d'évolution de la consommation et des temps de transit de l'eau, les débits nécessaires de chacun des biefs pour maintenir ou rétablir l'équilibre ;
- Il déduit les valeurs de consignes qui devront être transmises aux vannes....

La régulation dynamique présente trois avantages :

- la réduction des investissements (sur le plan génie civil).
- une sécurité de fonctionnement optimale grâce à la centralisation de toutes les informations (surveillance continu du canal par la visualisation des niveaux de plan d'eau, et des positions des vannes, ainsi que par les alarmes signalant les anomalies).
- une exploitation optimisée permettant une juste répartition d'eau, même en cas d'incident.



Figure 14 : Exemple de régulateur de commande des vannes du canal de Rocate

VI. Etude de l'impact des apports sédimentaires

a. Sur l'irrigation

L'irrigation est l'opération qui consiste à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, en particulier dans les zones arides. Les différents systèmes d'irrigation nécessitent des matériaux bien connus, pratiqués aux champs avec des méthodes adaptées. En effet, chacune de ces méthodes présente des avantages et des inconvénients. Il existe plusieurs systèmes d'irrigation. Nous nous intéressons au système de goutte à goutte qui présente les avantages suivants :

-économie d'eau.

-contrôle précis des quantités d'eau apportées : à condition que l'installation soit bien dimensionnée.

-faible pression de fonctionnement.

Malgré ces avantages il présente aussi des inconvénients la plus grave :

Bouchage (abstraction des gouteurs) : les inconvénients les plus importants sont ceux liés au problème de bouchage pour la raison essentiellement liée à la charge solide transportée par l'eau.

b. Sur la qualité des eaux

Les apports sédimentaires se trouvant au canal de la Rocate et au barrage de Sidi Driss présentent un point d'interrogation pour les hydrogéologues et les géologues ... du point de vue qualité des eaux. Nous avons ainsi opté pour faire des prélèvements depuis le barrage Sidi Driss jusqu'à la sortie du bassin 520 afin de suivre l'évolution de ces eaux de point de vue qualité, et bien évidemment connaître l'impact des apports sur la qualité de l'eau.

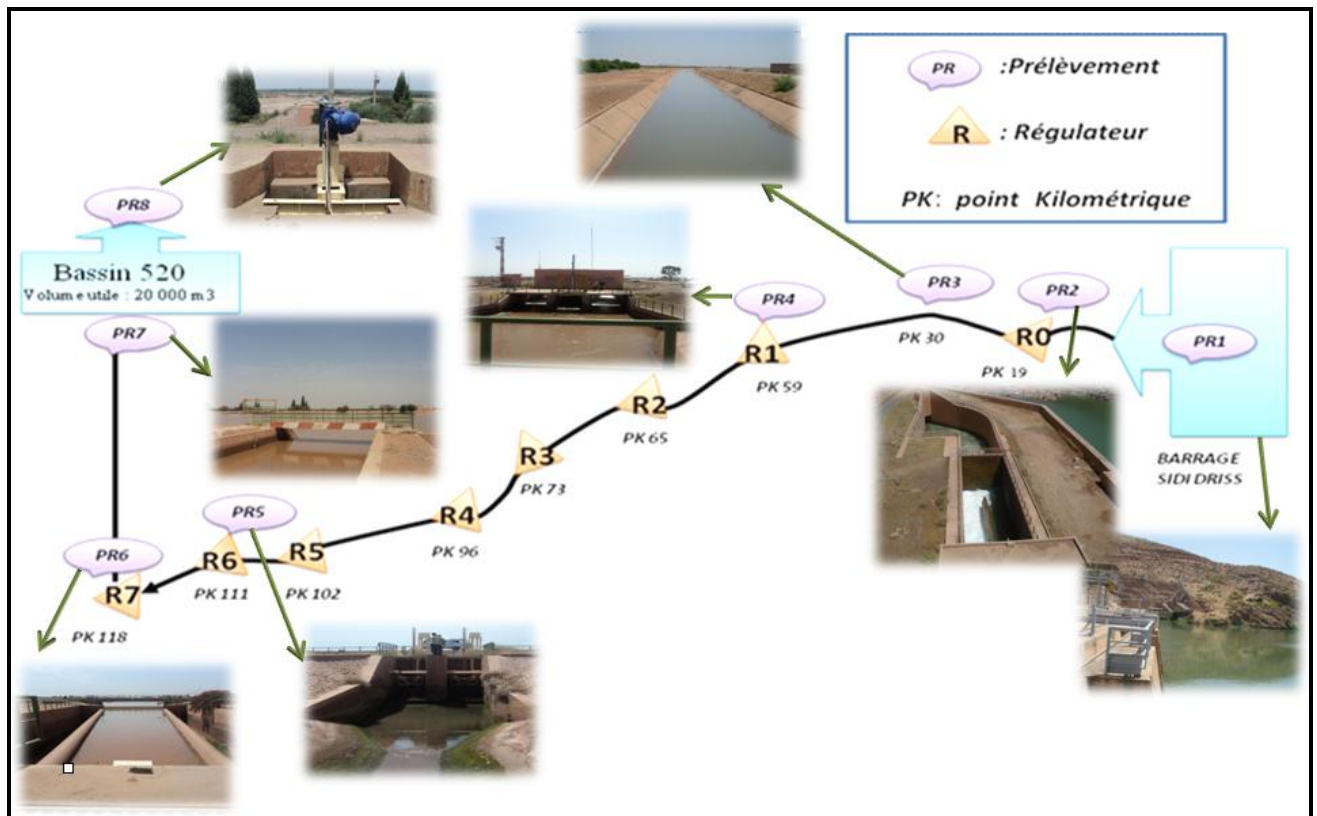


Figure 15 : Schéma des prélèvements effectués au niveau du barrage Sidi Driss et du Canal Rcade

1. Caractéristiques physico-chimiques

L'étude efficace de l'impact de la charge solide sur les eaux du canal Rcade nécessite précédemment une bonne connaissance de la quantité, la qualité et les variations temporelles de la composition de l'effluent.

Dans le processus de l'identification des eaux résiduaires, la caractérisation physico-chimique est incontournable si on espère définir avec bonne qualité, les caractéristiques d'un procédé de traitement. Pour obtenir un bon renseignement sur la qualité des eaux traitées, nous avons effectué une excursion le 29 et 30 mai 2012 dont l'objectif était de prélever des échantillons au niveau des points les plus sensibles du canal afin de les analyser pour en déduire l'évolution de la qualité de l'eau.

Après analyse des prélèvements au laboratoire on a trouvé les résultats suivants (voir annexe 2):

a. Le pH

Le pH est un facteur important dans le traitement de l'eau. Le pH du canal doit être dans les normes, puisque c'est une eau de surface, et c'est ce qu'on a trouvé comme résultat, des valeurs optimales comprises entre 7,18 en amont et 7,45 en aval.

Ce qui signifie qu'il n'y a pas une grande reproduction et évolution des micro-organismes le long du canal.

LES SITES DE PRELEVEMENT	BARRAGE SIDI DRISS	R0	PK 30	R1	R6	R7	ENTREE DU BASSIN 520	SORTIE DU BASSIN 520
pH	7,18	7,35	7,42	7.43	7.43	7.31	7.43	7.45

Tableau 8 : pH des prélèvements de l'amont vers l'aval

➤ **Interprétations**

Le pH du canal doit être dans les normes, puisque c'est une eau de surface, et c'est ce qu'on a trouvé comme résultat, des valeurs optimales comprises entre 7,18 en amont et 7,45 en aval.

Ce qui signifie qu'il n'y a pas une grande reproduction et évolution des micro-organismes le long du canal.

b. Température

Il est primordial de connaître la température d'une eau, en effet, celle-ci joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la détermination du pH. A la sortie du bassin 520, la température est relativement la plus élevée est de l'ordre de 22°C. En effet sa fluctuation dépend d'une part de la saison et d'autre part, du temps de séjour de l'effluent dans les différents régulateurs.

LES SITES DE PRELEVEMENT	BARRAGE SIDI DRISS	R0	PK 30	R1	R6	R7	ENTREE DU BASSIN 520	SORTIE DU BASSIN 520
Température de l'atmosphère (°C)	25	24	29	32	26	27	20	23
Température de l'eau (°C)	19	15	18	19	21	22	22	22

Tableau 9 : Température des prélèvements de l'amont vers l'aval

➤ **Interprétations**

On remarque nettement qu'il n'y a pas une grande influence de la température de l'atmosphère sur celle de l'eau, la valeur la plus faible (température de l'eau) est celle mesuré juste au début du canal au niveau de R0 (15°C), car elle représente la température des eaux profonde du barrage où les rayons solaires n'arrivent pas à pénétrer. Et 22°C est la valeur maximale de la température de l'eau, est mesuré au dernier prélèvement (la sortie du bassin 520) où on voit nettement l'influence de la température de l'atmosphère.

c. Les chlorures

Les chlorures existent dans la quasi-totalité des eaux à des concentrations très variables. Leur teneur de l'amont (barrage Sidi Driss) vers l'aval (bassin 520) varie entre 26,6 et 71 mg/l avec des variations non proportionnelles.

Il existe plusieurs méthodes qui permettent le dosage des chlorures dans l'eau, on choisit celle du dosage direct car c'est la méthode la plus recommandée par le laboratoire de l'ORMVAH.

Nous avons réalisé le dosage comme suit :

- dans un Erlenmeyer, on met 1ml de l'échantillon d'eau à analyser ;
- on complète jusqu'à 100 ml avec de l'eau distillée ;
- on ajoute quelques gouttes de chromate de potassium ;
- on dose avec la solution de nitrate d'argent tout en agitant l'Erlenmeyer ;
- une fois le virage atteint (virage du jaune au rouge orangé) ;
- On note le volume de nitrate d'argent nécessaire pour atteindre ce virage.

Après conversion on a obtenu les valeurs suivantes :

LES SITES DE PRELEVEMENT	BARRAGE SIDI DRISS	R0	PK 30	R1	R6	R7	ENTRE E DU BASSIN 520	SORTIE DU BASSIN 520
Cl ⁻ (mg/l)	26.62	62.12	44.37	53.25	44.37	53.25	44.37	71

Tableau 10 : Chlorure des prélèvements de l'amont vers l'aval

➤ Interprétations

Les chlorures existent dans la quasi-totalité des eaux avec des concentrations très variables. Leur teneur de l'amont (barrage Sidi Driss) vers l'aval (bassin 520) varie entre 26,61 et 71 mg/l avec des variations non proportionnelles, la concentration moyenne en chlorure est de 46,91.

La présence des chlorures dans le canal d'eau peut être attribuée à la dissolution des dépôts de sel, aux eaux de lixiviation des déchets. Chacune de ces sources peut entraîner une contamination locale des eaux de surface et des eaux souterraines. L'ion chlorure est très mobile et finit par être transporté dans le bassin 520 où se concentre bien, comme le montre la valeur maximal rencontré à ce niveau.

d. Matière en suspension (MES)

Les teneurs en MES des eaux dépendent pleinement de la période où les mesures ont été prises. Les hautes mesures sont souvent remarquées au moment des crues.

.

➤ Protocole de préparation



Figure 16 : le four

La matière en suspension est déterminée par filtration de l'échantillon puis séchage de l'extrait à 105°C.

$$\text{MES} = (P_2 - P_1) * 1000 / V$$

Avec :

- P_1 : poids du filtre (vide) avant filtration (mg).
- P_2 : poids du filtre séché après 24 heures (mg).
- V : volume de l'échantillon (ml).

Le tableau ci-dessous, présente les teneurs en MES relevées des analyses faites.

	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	PR6	PR7	PR8
LES SITES DE PRELEVEMENT	BARRAGE SIDI DRISS	R0	PK 30	R1	R6	R7	ENTREE DU BASSIN 520	SORTIE DU BASSIN 520
MES (mg/l)	0	0	0	20	20	40	60	40

Tableau 11 : Matière en suspension des prélèvements de l'amont vers l'aval

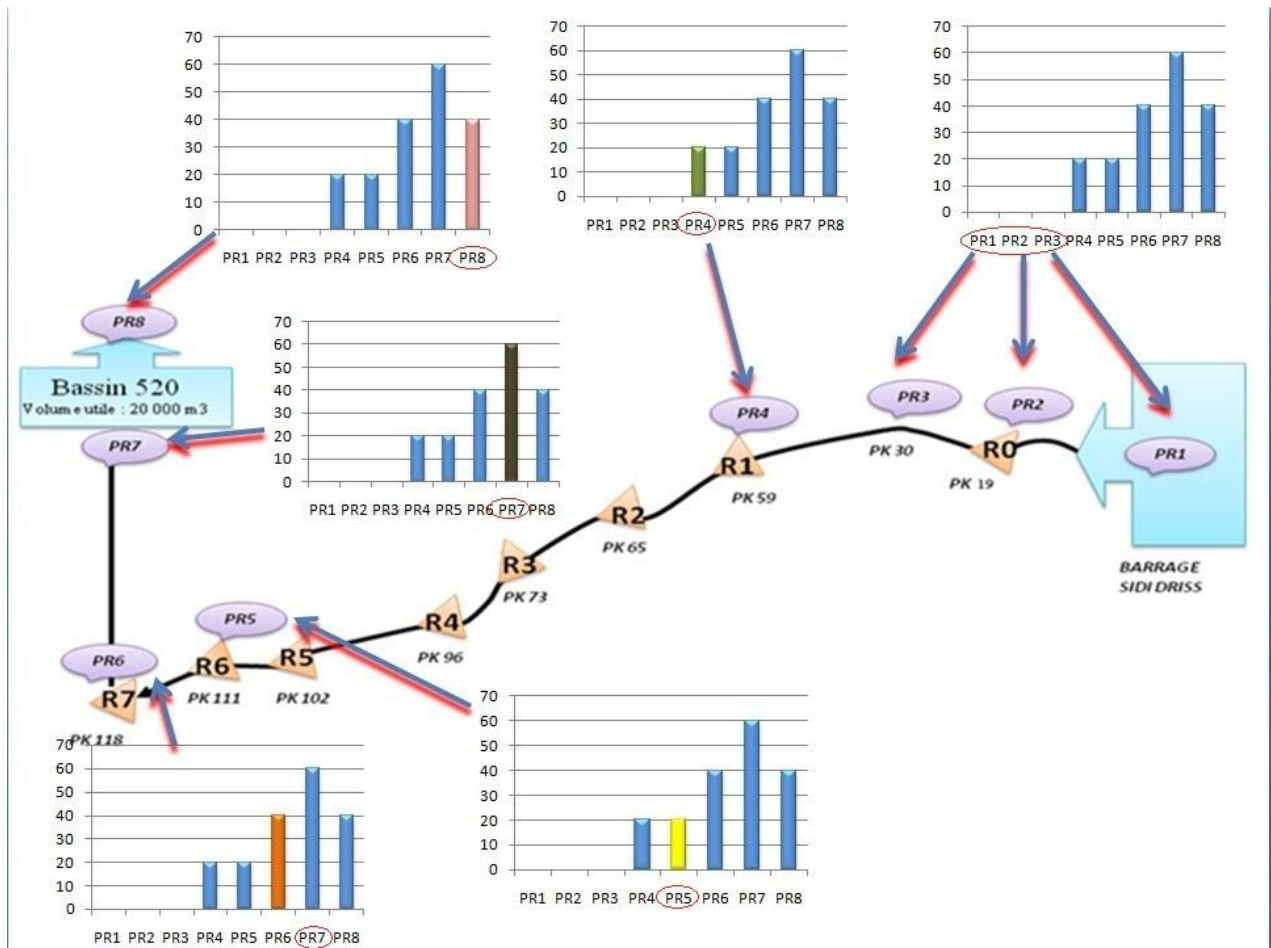


Figure 17 : Matière en suspension des prélèvements de l'amont vers l'aval

➤ Interprétation

Au niveau des trois premières stations de prélèvements, les concentrations de MES nulles car à l'entrée du canal, nous avons presque la même eau du barrage qui est dépourvue de MES d'autant plus que les prélèvements sont réalisés au mois mai, période où l'eau n'est pas turbide. Au delà de R1(PR4) jusqu'à le (PR7), c'est le phénomène de charriage qui est responsable de l'augmentation de la MES 60mg /l, jusqu' à la sortie du bassin 520 (PR6) ou il y a l'installation des filtres rotatifs responsable de cette diminution.

e. Dureté de l'eau

A l'aide du logiciel DIAGRAMMES nous avons pu calculer la dureté de l'échantillon :

La dureté de l'eau est liée à la quantité totale en calcium et de magnésium, leur présence dépend de la teneur des terrains traversés par les eaux, la dureté est donc différente selon les caractéristiques hydrogéologiques de chaque région et peut ainsi varier au cours de l'année de façon naturelle.

LES SITES DE PRELEVEMENT	BARRAGE SIDI DRISS	R0	PK 30	R1	R6	R7	ENTREE DU BASSIN 520	SORTIE DU BASSIN 520
DURETE DE L'EAU (EN °THF)	14	15	18	20	15	11	18	21

Tableau 12 : Dureté de l'eau des prélèvements de l'amont vers l'aval

➤ Interprétations

Le titre hydrotimétrique des eaux naturelles augmente souvent avec l'éloignement de la source, l'eau se chargeant en sels minéraux. Les eaux naturelles continentales étant généralement calcaires (bicarbonatées calciques), mais pour notre cas, les eaux du canal Rcade, on remarque une augmentation de la dureté de l'eau jusqu'au premier régulateur (R1), en arrivant au régulateur 6 et 7 ces valeurs diminuent progressivement jusqu'à 15 °f, cette chute est due généralement à la consommation excessive du calcium et magnésium par la végétation qui couvre les bordures du canal tout en commençant du régulateur 6.

Le bassin 520 est dépourvue de la végétation c'est pour cette raison que les valeurs de la dureté augmentent légèrement pour arriver à la valeur maximale 21 °f.

Cette eau est moyennement dure à dure selon le tableau des classifications de la dureté de l'eau (voir tableau annexe 2).

f. La conductivité électrique



Figure 18 : Conductivimètre

La conductivité électrique représente la résistance qu'oppose l'eau au passage d'un courant électrique. Elle constitue également une bonne appréciation des concentrations globales des matières en solution dans l'eau.

LES SITES DE PRELEVEMENT	BARRAGE SIDI DRISS	R0	PK 30	R1	R6	R7	ENTREE DU BASSIN 520	SORTIE DU BASSIN 520
Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$	580	531	533	535	538	541	539	542

Tableau 13 : La Conductivité de l'eau des prélèvements de l'amont vers l'aval

➤ **Interprétations**

La conductivité le, augmente d'amont du canal en l'aval montre le tableau ci-dessus, sans considérer les eaux du barrage. Ceci est dû à la minéralisation de l'eau. Puisque les eaux stagnantes présentent des valeurs de conductivités élevées, c'est le cas des eaux du barrage, c'est à cause de l'évaporation que précipitent les résidus, et par conséquent engendrent une augmentation de la conductivité.

g. Turbidité

Les échantillons	Barrage Sidi Driss	R0	PK 30	R1	R6	R7	Entrée du bassin 520	Sortie du bassin 520
La Turbidité (NTU)	5	13	15	19	39	50	67	55

Tableau 14 : La turbidité de l'eau des prélèvements de l'amont vers l'aval

➤ **Interprétations**

La turbidité désigne la teneur d'un liquide en matières qui le troublent. Dans les cours d'eau elle est généralement causée par **des particules colloïdales**. Les valeurs de la turbidité varient presque de la même manière que la concentration de la MES.

Les eaux du barrage présentent des valeurs de la turbidité les plus faibles par rapport à la queue du canal qui présente les valeurs maximales. Au niveau bassin 520, grâce aux filtres rotatifs installés à la sortie du bassin, la turbidité de l'eau de 67 à 55.

h. DCO

Le degré de pollution en matières organique s'exprime en demande chimique en oxygène (DCO). Plus facile et plus rapidement mesurable, avec une meilleure reproductibilité que la voie biologique, la DCO est systématiquement utilisée pour caractériser un effluent. La DCO donc permet de mesurer l'ensemble de la matière organique.

➤ Protocole d'analyse



Figure 19: Spectrophotomètre

Les solutions étalons et les échantillons sont traités de la même façon :

- 1. homogénéisation de l'échantillon ;
- 2. prélèvement à l'aide d'une pipette 2,5 ml d'échantillon pour l'introduire dans une éprouvette, en plus des échantillons, on utilise un témoin où l'on a mis l'eau distillée pour le calibre du spectrophotomètre.
- 3. on ajoute lentement 1,5 ml de la solution de digestion à l'aide d'une burette automatique dans chaque éprouvette.
- 4. on ajoute lentement 3,5 ml du réactif acide, on visse fermement le bouchon puis on mélange à l'aide d'un agitateur. Lors du mélange la chaleur dégagée est très grande.
- 5. on porte à reflux dans un bloc chauffant à une température de $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 2 heures.
- 6. on laisse refroidir à la température ambiante.
- 7. on ajuste la longueur d'onde du spectrophotomètre à 420 nm.
- 8. on essuie l'extérieur des éprouvettes avant de faire les lectures d'absorbance.
- 9. on ajuste le zéro d'absorbance avec la solution témoin.
- 10. on note l'absorbance de la solution témoin et des échantillons.

$$\text{DCO (mg O}_2\text{/l)} = 2606 \cdot \text{DO}$$

LES SITES DE PRELEVEMENT	BARRAGE SIDI DRISS	R0	PK 30	R1	R6	R7	ENTRE E DU BASSIN 520	SORTIE DU BASSIN 520
DCO (mg/l O ₂)	207 ,2	148,2	0	2,6	7,8	10,4	11,7	26,4

Tableau 15 : DCO des prélèvements de l'amont vers l'aval**i. DBO5**

La Demande Biochimique en Oxygène consommé en 5 jours ou DBO5 nous donne une idée sur la quantité de Matières Organiques Biodégradables présente dans l'eau analysée.

Malheureusement, les seuls échantillons qu'on a pu analyser ce sont l'échantillon R6 et l'eau de la sortie du bassin 520, et c'est à cause de contraintes au niveau du laboratoire ainsi que du temps d'attente des résultats.

➤ Mode opératoire**Figure 20 : Etuve d'incubation**

Préparation des flacons de mesure :

Verser dans le flacon 94 ml d'eau d'échantillon à analyser. Fermer le flacon sans y laisser d'air.

Répéter l'opération pour le deuxième échantillon.

Toutes ces opérations seront réalisées en veillant à ne pas modifier la teneur en dioxygène dissous.

Incubation : placer les 2 flacons à l'étuve 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours.

Mesure au temps 5 j : faire la lecture du DBO5 et calculer de la moyenne entre le 1er jour et le 5ème jour, c'est ce qui est mentionné dans le tableau suivant :

LES SITES DE PRELEVEMENT	R6	SORTIE DU BASSIN 520
DBO5 (mg/l)	7	13

Tableau 16 : DBO5 des prélèvements au niveau de R6 et Sortie du bassin 520

➤ **Interprétation du DCO et DBO5**

L'eau potable ou les eaux de surfaces doivent avoir une DBO5 proche de zéro jusqu'à quelques mg/l, plus précisément : DBO moyenne = 1 à 30 mg/l pour les eaux de surfaces, et de 50 à 100 pour une eau usée, et c'est le cas de notre eau du canal avec une moyenne de 10 mg/l.

Le rapport	$DCO/DBO5 < 2$	$2 < DCO/DBO5 < 3$	$DCO/DBO5 > 3$
la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent	l'effluent est facilement biodégradable	l'effluent est biodégradable avec des souches sélectionnées	l'effluent n'est pas biodégradable

Tableau 17 : Classification du rapport DCO/DBO5

L'étude de la biodégradabilité de l'effluent nous permet d'étudier l'impact de dépôt de la charge sédimentaire curé sur la zone de mise en dépôt, Pour notre eau la moyenne du rapport est $DCO/DBO5 = 1.57$ c'est-à-dire l'effluent est facilement biodégradable. D'après cette analyse on a trouvé que cela ne posera pas de problème de contamination de la nappe lors de dépôt de la matière solide.

2. La classification des eaux

De nombreuses données physico-chimiques, utiles à la caractérisation d'une eau, induisent l'utilisation de représentations graphiques. L'objectif principal est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue d'une caractérisation facile d'un échantillon d'eau. Les deux graphiques de Schoeller-Berkaloff et de Piper sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes.

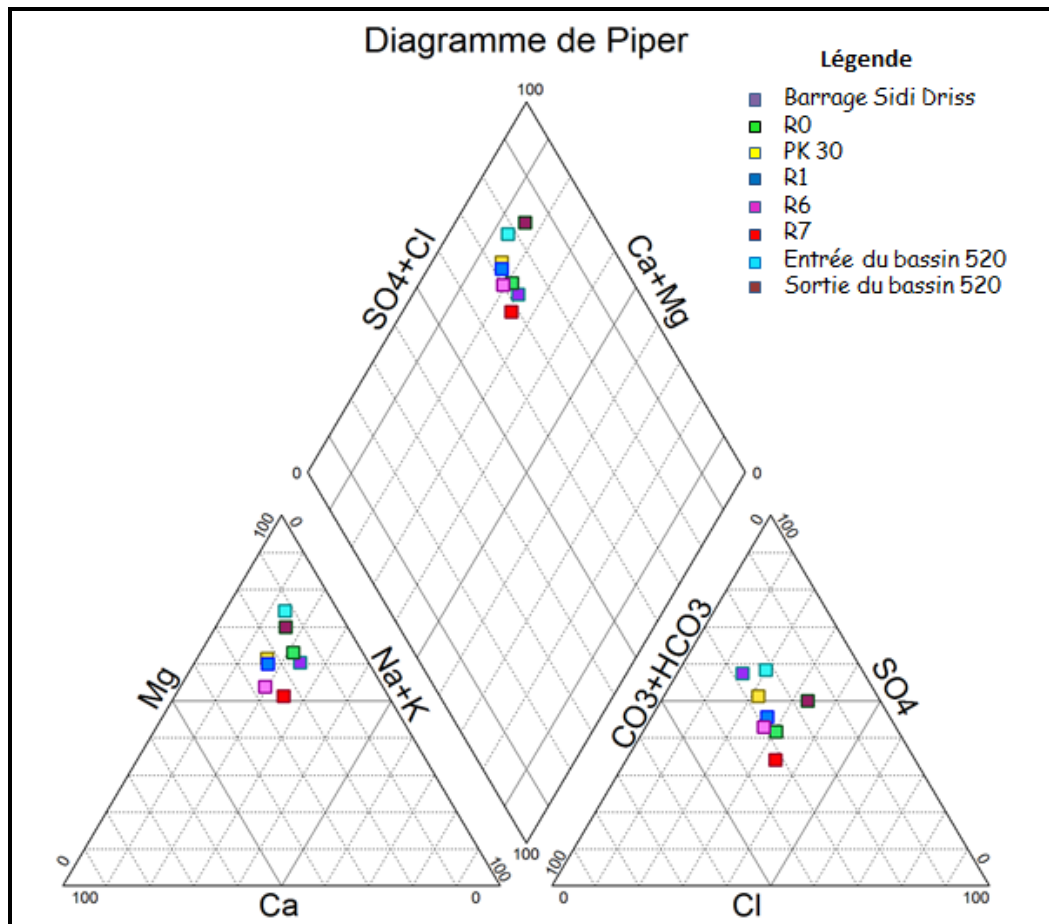


Figure 21 : Représentation des eaux du barrage Sidi Driss et du canal Rocate sur le diagramme de Piper

Selon le diagramme ci-dessus, le type de faciès chimiques des différentes eaux est: **chlorure-sulfaté et calciquo-magnésienne**, c'est-à-dire au moment des ruissèlements, il s'est produit un lessivage de formations diverses et qui a permis la concentration d'éléments particuliers en relation avec les lithologies de ces formations.

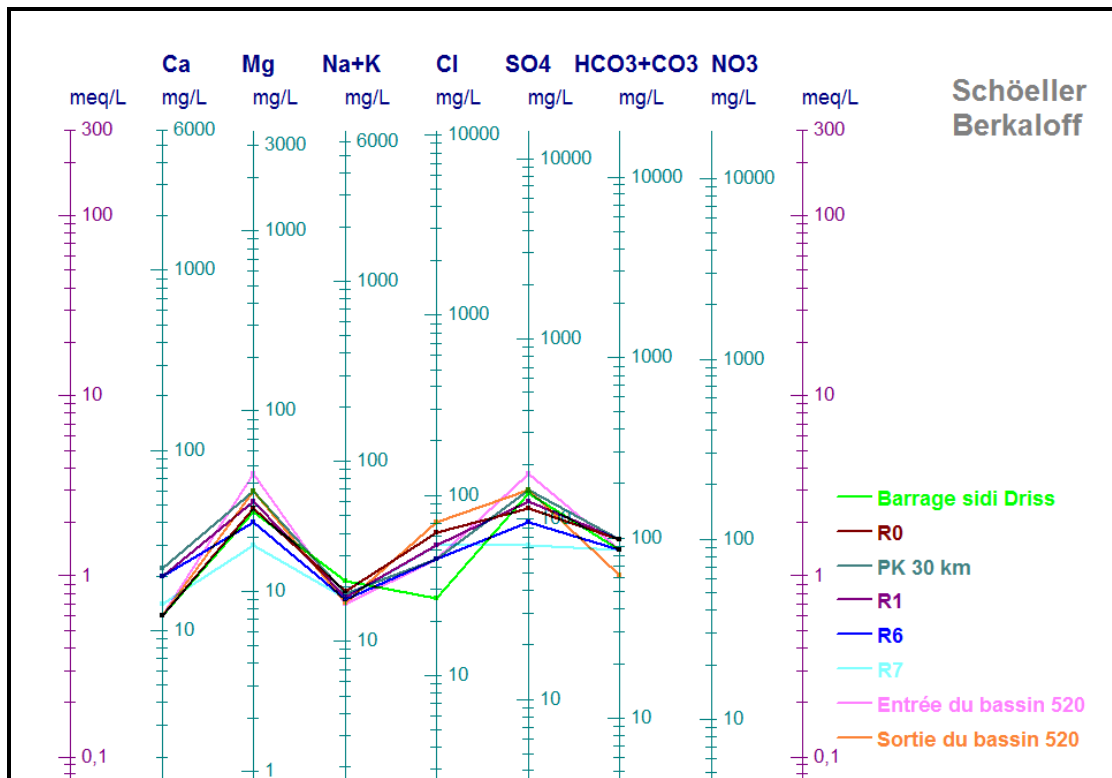


Figure 22 : Représentation des eaux du barrage de Sidi Driss et du canal Rcade dans le diagramme de Schoeller Berkloff

Selon le diagramme de Schoeller ci-dessus, on constate que tous les courbes de variations de la concentration des éléments dissous présentent presque la même allure, donc on est en présence plus ou moins de la même eau, avec des différences négligeables, telles que la concentration en SO₄ au niveau du régulateur R7. Ceci est dû à la forte précipitation de cet élément à cause de la décantation observée au queue du canal, mais juste au niveau du bassin 520, on remarque l'augmentation de la concentration de cet élément à cause de l'agitation provoquée par la forte pente du canal de la transition entre R7 et le bassin 520. On peut également remarquer une faible augmentation de quelques éléments (Na, Ca, Cl ...) qui est due en général, au phénomène de l'évaporation, ainsi on peut expliquer la diminution de quelque éléments.

Synthèse des analyses :

Nous pouvons enfin déduire que notre eau du canal n'a pas beaucoup changé par rapport aux eaux du barrage, ainsi il n'y a pas de contamination organique agressive. Donc lors du curage de la charge solide, son dépôt ailleurs ne posera pas de problème de contamination de la nappe phréatique, car c'est une eau biodégradable.

Les éléments les plus dominants dans les eaux sont les chlorures, les sulfates, le magnésium et les calcaires. Aussi, nous pouvons supposer que les roches les plus dominantes et les plus lessivées lors des ruissèlements correspondent essentiellement à des dolomies et des calcaires.

Classe	Pollution nulle ou faible	Pollution modérée	Mauvaise qualité
Conductivité	< 750 $\mu\text{S/cm}$	< 1500 $\mu\text{S/cm}$	> 1500 $\mu\text{S/cm}$
pH	De 6,5 à 8,5	De 6 à 6,5 et de 8,5 à 9	< 6 et > 9
MES	< 25 mg/L	< 150 mg/L	> 150 mg/L

Tableau18 : Les classes de pollutions selon le pH, la quantité en MES et la conductivité

D'après les résultats obtenus ci-dessus, et d'après le tableau des classes de pollution, on peut dire que notre eau n'est pas très contaminée, avec une pollution faible à modérée.

PARTIE 4 : QUELQUES SOLUTIONS ET TECHNIQUES DE REMÉDIASSIONS

I. Les aménagements antiérosif du Bassin Versant

Les activités proposées ont été regroupées en deux rubriques selon le type de milieu concerné :

- Dans le domaine agricole : les banquettes fruitières, les murettes et cordons de pierre, le traitement de ravines et la végétation, les reboisements de protection.
- Dans le réseau hydrographique : les ouvrages mécaniques (gabions) et la fixation biologique de berges.

➤ **Aménagements types du domaine agricole**

Nom de l'aménagement	Description	photo
- Banquette fruitière	- La banquette fruitière à base d'olivier ou d'amandiers ayant de modestes besoins en main d'œuvre pour son exploitation, est adaptée aux zones où il y a pénurie.	
- Murettes et cordons de pierre	- Les murettes et cordons de pierre sèche offrent des perspectives plus intéressantes. Cette technique, déjà largement diffusée dans la zone, combine les avantages d'une très faible perte de superficie, de l'épierrage des parcelles, de l'amélioration de l'humidité du sol et donc de la sécurité de production.	
- Traitement de ravines et la végétation	- Le traitement de ravines par seuils et végétalisation répond à une double finalité : la réduction des écoulements et des pertes en terres (effet aval dominant) et la protection des zones cultivées contre l'érosion régressive (effet	

	amont).	
- Reboisement de protection	- Le reboisement de protection concerne des espaces bien délimités fortement dégradés, dont les seules possibilités de stabilisation sont liées à une fixation biologique profonde et dont l'érosion intense menace les espaces ou infrastructures sous-jacentes.	

➤ **Aménagements types dans le réseau hydrographique :**

Nom de l'aménagement	Description	photo
- Ouvrages mécaniques (gabions)	- La correction torrentielle vise d'une part les grands ravins dont les exutoires menacent des zones à potentiel agricole ou des infrastructures, d'autre part des berges d'oueds principaux sensibles au sapement lors de grandes crues.	
- Fixation biologique de berges.	- La fixation biologique de berges de ravins ou d'oueds a essentiellement pour objectif de stabiliser les rives et de protéger ainsi les terres en surplomb d'une érosion régressive. Dans ce cas comme dans le précédent, les sites propices n'ont pu être identifiés mais l'intensité de l'occupation du sol au voisinage du réseau hydrographique laisse penser que les cas à traiter sont rares.	

Conclusion :

Les actions de reboisement correspondent à la solution la plus efficace et la plus utilisée au niveau du bassin intermédiaire de Sidi Driss, conduisent à prévoir des solutions pour la prise dans l'hypothèse du maintien d'un apport solide important à court et moyen terme.

II. Au niveau du canal

1. Mesures préconisées par INGEMA pour réduire la charge solide au niveau du canal Rocate

En se basant sur une étude faite par la société maghrébine d'ingénierie (INGEMA), les solutions envisagées qui sont indispensables aussi bien pour les besoins futurs de l'irrigation que pour les eaux potables sont les suivants :

- a. réalisation de bassins de décantation en amont du canal de Rocate, sans utilisation de réactifs.**
- b. réalisation de bassins de décantation, en aval du canal de Rocate, avec utilisation de réactifs.**
- c. mise en chômage et curage du canal chaque année.**

Solution 1

Il est nécessaire de réaliser de grands bassins pour faire décanter une part significative des matières en suspension.

La vitesse de 0.84 m/h on aura besoin d'une surface de 86 000 m², soit 4 bassins de 22 000 m². Avec une profondeur utile de 2.5 m, cela donnerait un volume mouillé de 4*55 000 m³.

L'investissement nécessaire correspondant serait proche de 26 MDH

L'extraction des boues se fera en continu et sous forme liquide afin d'éviter leur vieillissement et leur dépôt dans le lit de Oued Tessaout (le site à retenir être proche d'un cours d'eau important pour l'évacuation aisée des dépôts).

Par ailleurs, pour le dimensionnement optimum des ouvrages de décantation, il est souhaitable d'effectuer des essais sur un bassin pilote. Le bassin pilote devra pouvoir traiter un débit proche du dixième du débit nominal d'un bassin définitif, soit dans le cas présent 0,5 m³/s.

Un tel bassin a un coût de 0,7 MDH.

Solution 2

Le LPEE et l'ONEP préconisent une décantation accélérée en utilisant un coagulant chimique, le sulfate d'alumine. Pour réaliser un tel projet, en tenant compte la réalisation de bassin de décantation, le coût des réactifs est calculé en prenant en considération que :

- Sur une durée d'un mois les eaux brutes à l'entrée du canal sont chargées entre 2 et 6 g/l (avec une moyenne de 4 g/l sur cette période)
- Le reste du temps, elles sont chargées à 0.2 g/l.

Solution 3

La solution 3 consisterait à procéder annuellement au curage du canal avec une mise en chômage partielle.

Il serait préférable de mettre en chômage le canal pour le curer pour les raisons suivantes :

- Le rendement des pelles serait bien meilleur si le canal est à sec. En effet, les dépôts ne seraient plus chargés en eau qui les alourdit, d'une part. D'autre part, lorsque la pelle est en action alors que le canal était en service, elle travaillait de l'aval vers l'amont, et on s'apercevait qu'une partie des dépôts était prélevée du canal et l'autre partie, non négligeable, était remise en suspension et partait plus à l'aval.
- On pourrait mieux contrôler et juger de l'efficacité des travaux de curage. L'état du canal, à l'issue du curage, serait bien visible, contrairement au cas de curage avec le canal en service (on ne s'intéresse dans ce cas qu'à la quantité de dépôts évacués du canal sans savoir si ce dernier est correctement curé).
- La mise en chômage du canal serait mise à profit pour faire le point exact sur l'état du génie civil du canal et de définir de manière plus précise les interventions pour les années suivantes.

L'enlèvement d'un m³ de matériaux déposés dans le canal par les moyens mécaniques revient à 25 DH/m³. Ce prix couvre le transport et le réglage jusqu'à une distance maximale de 500 m.

On aboutit donc à un coût de curage annuel de : **2 950 kDh/an**

Comparaison technico-économique des solutions :

Les résultats de calcul du coût actualisé de chaque solution, pour des taux d'actualisation de 8, 10 et 12%, sont présentés dans le tableau suivant :

	Taux		
	8%	10%	12%
Coût actualisé de la solution 1 (kDh)	30 974	30 582	30 335
Coût actualisé de la solution 2 (kDh)	70 197	58 584	51 269
Coût actualisé de la solution 3 (kDh)	38 572	30 152	24 848

Tableau 19 : Coûts actualisés des trois solutions

Il ressort de ce tableau que la solution 2 est nettement plus chère que les solutions 1 et 3, la solution 3 correspond néanmoins au coût de premier investissement le plus faible.

Conclusion

Il semble, compte tenu de ce qui précède, que toute solution consistant à piéger les matières en suspension de manière efficace, par sédimentation dans le tronçon amont du canal, n'est pas économiquement intéressante.

Il faudrait plutôt s'orienter vers une combinaison d'autres actions dont les principales sont les suivantes :

- a. considérer le curage mécanique du canal comme la solution de base du moins à moyen terme, tout en engageant une réflexion sur les équipements les mieux appropriés à mobiliser à cet effet et sur les lieux de mise en dépôt des matériaux extraits.
- b. mettre en place des pompes à boue dans le bassin aval, le plus critique, pour assurer un curage en continu avec évacuation des boues vers un bassin spécialement aménagé à cet effet.
- c. intervenir au niveau du bassin versant du barrage Sidi Driss pour réduire l'action érosive du bassin, et cela est déjà traité dans notre sujet, sachant que les effets visés ne peuvent être ressentis qu'à moyen et long terme.

Mais on peut aussi réduire l'impact de la charge solide en installant des techniques traditionnelles telles que les grilles de filtrations ...

2. Réduction de MES par l'ORMVAH dans le canal de Rcade

Parmi les missions de l'office, a pour objectif la réduction de MES (Matière En Suspension) dans le canal, donc il est préférable de ne pas y poser les matériaux mais plutôt les mettre dans la retenue ou dans un ouvrage décanteur, pour deux raisons :

○ **Quantité charriée importante de dépôts solides**

Les dépôts dans le barrage sont de l'ordre de 500.000 à 1000.000 m³/an (bathygraphie faite par LPEE) alors que l'entrée de MES dans le canal de Rocate est évaluée à 50.000 m³/an. La réduction de ce chiffre n'aura pas l'effet sensible sur l'envasement de la retenue de Sidi Driss.

○ **Le coût financier élevé de curage et de maintenance**

Le cout du curage du canal est élevé du fait qu'il s'agit d'un ouvrage linéaire et que cette opération doit être faite en maintenant le service.

En raison des grandes quantités de la matière solide qui entrent dans le canal, on a installé des grilles avec différente taille de mailles, selon le diamètre des matériaux traversant le canal.

a. La démarche de curage

Le curage est destiné à limiter l'accumulation du lit, à contrôler les zones de dépôt et à éviter le détournement de l'écoulement. Mais il peut transporter un trouble majeur du cours d'eau par dégradation du lit, des substrats et des végétaux présents, par modification des flux et par suppression de la surface du sédiment.

C'est pourquoi le curage des sédiments doit se faire selon des orientations bien précises :

- ✓ le curage ne sera réalisé que lors d'accumulations excessives du cours d'eau. Il sera évité lorsque les dépôts sont limités et ne présentent de conséquences ni sur l'écoulement du canal central ni sur la stabilité des berges.
- ✓ Le curage ne doit jamais être envisagé sur une grande échelle mais programmé par secteurs limités et prioritaires.
- ✓ Avant toute opération de curage, il sera établi si les dépôts ne sont pas une réponse à une largeur excessive du cours d'eau et si le profil transversal de celui-ci est en adéquation avec le régime hydraulique.

b. Les techniques de curage

Les opérations de curage peuvent s'engager. Il existe deux techniques traditionnelles de curage: mécanique et hydraulique.

i. Le curage hydraulique

Un des grands avantages de ce type de curage est la faible remise en suspension des sédiments. En revanche ce type de curage engendre de grands volumes d'eau avec les sédiments extraits (un volume de sédiment pour trois volumes d'eau). Il faut donc prévoir un ou plusieurs bassins de décantation en aval de l'extraction, et un dispositif de rejet des eaux.

ii. Le curage mécanique :

Ce type de curage réalisé à partir des machines à godets qui opèrent soit depuis les berges (pelle mécanique), soit depuis la surface (pelle sur pontons, dragues à godets...), est employé dans la plupart des cas pour l'extraction des sédiments graveleux et non contaminés.

Différents types d'engin sont utilisés :

- ❖ pelles mécaniques: Elles sont les plus utilisées pour le curage du canal Rcade. Leur grande maniabilité leur permet aussi de curer la végétation rencontrée.



Figure 23 : Pelles mécaniques

Il existe d'autres techniques de curage qui sont pas utilisées au niveau du canal Rcade tels que : les pelles araignées, les pelles à godets sur pontons, l'aquacat, les dragues à benne preneuse, les "draglines, les dragues à pelle ou à cuillère, les dragues rétrocaveuses, les dragues excavatrices sur ponton à chargement frontal, les dragues à bennes traînantes (voir Annexe2).

La technique de curage doit tenir compte des impacts que peut entraîner le dragage du cours d'eau :

➤ **La perturbation du milieu aquatique :**

Elle peut être causée par la mise en suspension de sédiments susceptibles de migrer dans des zones déjà curées ou non envasées, la modification physico-chimique du milieu, la surabondance d'éléments nutritifs, la réduction de la limpidité de l'eau, l'échange de contaminants entre les sédiments en suspension ou par l'enfouissement d'organismes benthiques

➤ **Les gravités sonores :**

Le matériel utilisé pour le curage est source de bruit pouvant engendrer des désagréments à proximité des zones habitées.

3. Le devenir des sédiments extraits

La mise en dépôt : Le site de dépôt peut être un bassin creusé dans la terre sans étanchéité particulière, il doit se situer dans une zone non inondable, facile d'accès et proche du site à curer de manière à simplifier le transport des sédiments extraits.

Pour notre cas, le canal Rocate, cela n'est pas disponible, les sites de dépôts les plus proches des zones curées sont les Oueds, qui ne présentent pas une étanchéité particulière, en plus sont inondable, mais cela ne pose pas de problème au niveau de contamination de la nappe phréatique, car les sédiments proviennent du bassin versant Sidi Driss, et contiennent des quantités négligeables de la matière organique.

4. Le bilan du curage

Années	Volume curé en m ³	Coût de curage en Dh
1997/98	40 196	40 196
1998/99	55 222	1 070 362.68
1999/00	24 421	816 457
2001	61 635	1 482 855.19
2002	18 766	385 449
2003	15 503	348 741.89
2004	----	118 447.62
2005	66 188	1 413 688.94
2006	60 064	1 347 249.89
2007	69 539	1 592 526.21
2008	65 122	1 499 891.83
2009	67 572	1 466 402.33
2010	240 542	5 616 676.28
2011	58 436	----

Tableau 20 : Dépenses effectuées pour le curage du Canal de Rocate

Remarque

Une technique a été essayée au niveau du canal Rocate, c'est l'empoissonnement, mais cet essai n'a pas marché cent pour cent, car il y avait des contraintes de pêches par les villageois proche du canal.

III. Traitement des eaux destinées à la consommation humaine

Norme	MES
ONEP	6 g/l
Echantillon	20 mg/l

Tableau 21 : Norme de la MES

Après les analyses que nous avons effectuées pour les eaux du canal Rcade, nous avons trouvé que la MES représente 20 mg/l, et vu que l'ONEP ne traite que les eaux qui ont une norme inférieure à 6 g/l de MES, donc l'eau du canal Rcade est traitable.

Ce traitement commence par le **dégrillage** qui consiste à filtrer l'eau au travers de grilles qui filtrent les petits et les gros déchets. Ensuite, on effectue le débouage qui consiste à rassembler l'eau dans un ouvrage muni d'un appareil de mesure (MES-mètre) qui permet de quantifier la teneur en MES des eaux brutes. Si l'eau à traiter représente une charge supérieure à 2 mg/L, on procède à l'injection d'un polymère (molécule très longue et ramifiée) dont l'objectif est de piéger la MES par un phénomène de pontage afin de former des floes qui présentent un poids assez important et par l'action de la gravité, ils vont se déposer au fond des déboueurs. Après, c'est la **floculation décantation** où l'on ajoute du chlorure ferrique, un produit chimique, afin d'agglomérer en flocons les petites particules responsables de la turbidité de l'eau (trouble), ces particules tombent au fond de la cuve entraînées par leurs poids. Lors du **préfiltrage**, l'eau passe au travers d'une couche de boues d'argile et d'une couche de sable de Loire afin de la débarrasser des particules qui la rend trouble pour la rendre plus claire mais elle a encore une odeur. La **filtration par sables biologiques** consiste à faire passer l'eau à travers une couche de sable qui contient des micro-organismes qui vont éliminer une partie des virus et des bactéries. Le **traitement par l'ozone** consiste à ajouter de l'ozone, gaz produit à l'aide d'oxygène liquide, dans l'eau afin de détruire les derniers virus mais il reste des minuscules déchets invisibles à l'œil nu. Ensuite vient l'étape du **filtrage par charbons actifs et noix de coco** qui consiste à filtrer l'eau au travers de couche de charbons actifs et de noix de coco qui retiennent les derniers petits déchets. L'eau n'a plus d'odeur ni de coloration, elle devient ainsi potable. Pour finir vient l'étape de la **chloration** au cours de laquelle l'on ajoute à l'eau une petite quantité d'eau de javel, chlore, afin de la protéger des micro-organismes lors de son transport dans les canalisations

(Voir annexe 2).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail est achevé, les objectifs soulignés sont atteints, le stage s'est déroulé dans de bonnes conditions excepté un problème auquel nous avons été confrontés est celui de l'accès aux données récentes que ce soit sur le canal rocade ou sur le barrage. Concernant le bassin intermédiaire Sidi Driss. Malgré ceci, **se nous** en est adaptés en cherchant d'autres sources d'informations. Nous avons alors compensé ce manque de données en multipliant les analyses et les traitements, ce qui nous a permis d'en dégager beaucoup d'informations.

Le canal Rcade est dit l'un des projets qui a présenté un rendement important à l'agriculture du Haouz centrale ainsi à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech.

L'envasement de l'ouvrage (le canal Rcade) est l'un des problèmes les plus gâtant qui se posent actuellement en menaçant le bon fonctionnement, surtout qu'il s'agit d'une contrainte non prise en considération lors de la réalisation du projet. Ce problème nécessite une coopération des intervenants dans ce domaine. Grace aux efforts de l'ORMVAH, à travers les actions de curage de la retenue, l'ouvrage est en bon état, mais ceci demeure insuffisant.

Par ailleurs, les analyses des eaux du canal que nous avons effectuées d'amont en l'aval du canal, ont montré que la qualité **des eaux n'a pas beaucoup changé** durant le parcours des eaux. D'autre part, nous avons **montré qu'il n'y a pas de contamination** de la nappe lors du dépôt de la charge curée dans les zones de mise en dépôt (en général Oued Lbahja qui est le plus proche).

Le rôle de la Direction Régional des Eaux et Forêts et Lutte contre la Désertification se limite au niveau du bassin versant, dans les interventions de reboisement et la construction des seuils afin de diminuer l'érosivité du milieu.

L'autre volet étudié dans le travail nécessite la recherche de solutions de remédiassions les plus convaincantes. A ce niveau là, on rappellera les propositions qu'on avait posées telles que l'installation des filtres de diamètres variables le long du canal, ainsi la réalisation de bassins décanteurs, soit au niveau du canal ou bien à l'entrée des zones à alimenter afin de mener à bien le bon fonctionnement du canal.

BIBLIOGRAPHIE

- ORMVAH (2010), Etude de la qualité des eaux d'irrigation des secteurs concernés par le projet de reconversion des systèmes d'irrigation existants à l'irrigation localisé. Note d'orientation.
- Ouaatou Hamid & Telouati Khalid (2011) Impact de la turbidité des eaux du canal de la Rocate sur le projet de reconversion du système d'irrigation dans le périmètre du N'Fis (région de Marrakech-Tensift-Alhaouz, Maroc).Rapport de fin d'étude, FST Marrakech
- TP de détermination de la dureté de l'eau, université Ibn Khaldoun de Tiaret.
- Impact des fosses toutes eaux sur les eaux de la nappe exploitée pour l'AEP au douar Skoum.Par (Lamyaa KACEM)
- Etude du plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz, édition Mars 2007 Pacific Consultants International, Japon.
- Inventaire détaillé des techniques de curage, transport, traitement et usages des sédiments : « Méthodes de gestion et de réutilisation des dépôts ».
- Grégoire Schneider (2000) : « Le curage des sédiments des cours d'eau » par, INRA-ME&S.
- SABIR mohamed (2002) « Quelques techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de lutte antierosive dans le bassin versant de sidi driss, haut atlas central, maroc », Ecole nationale forestière d'ingénieurs, bp 511, salé, maroc.
- SEMCHA Abdélaziz (11 Décembre 2006) « Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug ».Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Reims Champagne-Ardenne Discipline : Génie Civil

Liste des figures

- Figure 1 : Situation géographique de la région d'étude (Jaboun, Kouza)
- Figure 2 : Carte géologique de la région d'étude (Lamyaa. KACEM 2010)
- Figure 3 : Carte hydrologique des affluents d'Oued Lkhdar (ORMVAH)
- Figure 4 : Evolution de la répartition spatiale des aménagements hydrauliques du Haouz (ORMVAH)
- Figure 5 : Diagramme de la moyenne mensuelle de température et de précipitation d'une série de 20ans (1990- 2010)
- Figure 6 : Graphique représentant l'évolution des moyennes mensuelles des précipitations et le volume des apports durant les derniers 10 ans (2000-2011) du barrage Sidi Driss
- Figure 7 : Image des sédiments présents dans le barrage Sidi Driss
- Figure 8 : Histogramme présentant l'évolution des débits d'eau et la charge solide durant la période d'avril 2011 et avril 2012
- Figure 9 : Image d'une partie du canal Rocate
- Figure 10 : Schéma simplifié de l'aspect général du canal Rocate avec les prises d'eau
- Figure 11 : Schéma représentant la section transversale du canal Rocate
- Figure 12 : Volumes d'eau consommés en m³ par les prises du canal Rocate en 2011
- Figure 13 : Pourcentage du volume d'eau consommée par les prises du canal Rocate en 2011
- Figure 14 : Exemple de régulateur de commande des vannes du canal de Rocate
- Figure 15 : Schéma des prélèvements effectués au niveau du barrage et le Canal Rocate
- Figure 16 : Le four
- Figure 17 : Matière en suspension des prélèvements de l'amont vers l'aval
- Figure 18 : Conductivité-mètre
- Figure 19 : Spectrophotomètre
- Figure 20 : Etuve d'incubation
- Figure 21 : Représentation des eaux du barrage Sidi Driss et du canal Rocate sur le diagramme de Piper
- Figure 22 : Représentation des eaux du barrage Sidi Driss et du canal Rocate dans le diagramme de Schoeller Berkloff
- Figure 23 : Pelles mécaniques

Liste des tableaux

Tableau 1	: Classification des substrats dans le bassin versant
Tableau 2	: Moyenne mensuelle de température et de précipitation d'une série de 20ans (1990- 2010)
Tableau 3	: Caractéristiques du barrage Sidi Driss
Tableau 4	: Moyennes mensuelles des précipitations et le volume des apports durant les derniers 10 ans (2000-2011) du barrage Sidi Driss
Tableau 5	: Caractérisations des sédiments
Tableau 6	: le débit de l'eau et la charge de la matière en suspension dans la période Avril 2011_Avril 2012
Tableau 7	: Le volume, la longueur et le débit des biefs du canal de Rcade
Tableau 8	: PH des prélèvements de l'amont vers l'aval
Tableau 9	: Température des prélèvements de l'amont vers l'aval
Tableau 10	: Chlorure des prélèvements de l'amont vers l'aval
Tableau 11	: Matière en suspension des prélèvements de l'amont vers l'aval
Tableau 12	: Dureté de l'eau des prélèvements de l'amont vers l'aval
Tableau 13	: la Conductivité de l'eau des prélèvements de l'amont vers l'aval
Tableau 14	: La turbidité de l'eau des prélèvements de l'amont vers l'aval
Tableau 15	: DCO des prélèvements de l'amont vers l'aval
Tableau 16	: DBO5 des prélèvements au niveau de R6 et Sortie du bassin 520
Tableau 17	: Classification du rapport DCO/DBO5
Tableau 18	: Les classes de pollutions selon le pH, la quantité en MES et la conductivité
Tableau 19	: Coûts actualisés des trois solutions
Tableau 20	: Dépenses effectuées pour le curage du Canal de Rcade
Tableau 21	: Norme de la MES

Liste des abréviations

ORMVAH	: Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz
ONEP	: Office National de L'eau Potable
STEP	: Station de Traitement de l'Eau Potable
CGTC	: Centre de Gestion et Télécontrôle du Canal Rocate
LPEE	: Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes
MES	: Matière En Suspension
RADEEMA	: Régie Autonome de Distribution de l'Electricité et de l'Eau de Marrakech
AEP	: Alimentation en Eau Potable
CMV	: Centre de Mise en Valeur
BVSD	: Bassin Versant de Sidi Driss
pH	: Potentiel Hydrogène
DCO	: Demande Chimique en Oxygène
DBO5	: Demande Biochimique en Oxygène consommé en 5 jours
TH	: Titre Hydraulique

Annexe 1

Présentation de l'Office du Haouz:

Crée par Décret Royal n°831-66 du 22 octobre 1966, l'Office Régional de Mise en Valeur agricole du Haouz est un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière et il est placé sous la tutelle du ministère de l'agriculture, de la mise en valeur agricole et des pêches maritimes. Sa principale mission est de promouvoir le développement agricole dans sa zone d'action.

La zone d'action de l'Office du Haouz s'étend sur une superficie totale de 663000 ha. Elle comprend trois grands périmètres aménagés (Tessaout amont, Tessaout aval et Haouz central). Elle est limitée à l'est par l'oued El Abid, à l'ouest par le bassin du N'fis, au sud par le piémont du Haut Atlas et au nord par les oueds Tensift et Oum Er-Rbiâ. Cette zone concerne la Wilaya de Marrakech où la zone de l'Office s'étend sur une superficie de 277000 ha, la province d'El Kelâa des Sraghnas sur une superficie de 385000 ha et la province d'Azilal sur une superficie de 1000 ha.

Une mobilisation séculaire de l'eau à partir de seguias (canaux en terre), de khetaras (galeries souterraines) et de puits a permis la mise en valeur agricole de la région, concrétisée notamment par l'importance des plantations fruitières.

Toutefois, une agriculture répondant aux besoins du Maroc moderne exige, compte tenu des contraintes climatiques, une garantie et une augmentation des ressources hydrauliques que le système traditionnel ne permet pas d'assurer. C'est pourquoi, dans le cadre des objectifs d'aménagement et de mise en valeur des terres agricoles fixés par le Maroc, l'Office du Haouz se voyait confier la réalisation d'un vaste programme d'aménagement hydro-agricole portant sur les trois régions naturelles composant sa zone d'action, à savoir :

Tessaout Amont : 52.000 ha

Tessaout Aval : 44.000 ha

Haouz central : 50.000 ha

L'aménagement du Haouz central est étroitement lié à celui du Tessaout Aval, par un transfert d'eau inter-régional qui prévoit notamment :

La dérivation par le biais du canal de Rcade de 300 Mm³ de l'oued Lakhdar vers le Haouz central dont 260 Mm³ pour l'irrigation des secteurs répartis sur l'ensemble de la plaine et 40Mm³ pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Marrakech.

Le transfert de 235 millions de m³ des eaux de l'oued El Abid régularisées par le barrage de Bin El Ouidane desservant la région du Tadla, pour irriguer 37 500 Ha du Tessaout aval. Ceci a

donné naissance au canal T2, long d'environ 93 km et permettant de transiter un débit en tête de 12 m³/s.

Les principaux ouvrages réalisés pour l'équipement hydro-agricole du Haouz central concernent en particulier la mobilisation des eaux :

- ✓ le barrage Moulay Hassan 1er sur l'oued Lakhdar, régularisant 350 millions de m³/an
- ✓ le barrage de prise Sidi Driss.
- ✓ la surélévation du barrage Lalla Takerkoust sur l'oued N'fis portant le volume régularisé à 85 millions de m³.

▪ **Fiche d'identité**

Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Son secteur d'activité est chargé de promouvoir le développement agricole dans sa zone d'action qui s'étend sur la wilaya de Marrakech, la province d'El Kelaa des Sraghna et une partie de la province d'Azilalet couvre une superficie globale de 663000ha. L'implantation de l'entreprise est à MARRAKECH, Tensift-Haouz crée le 22 octobre 1966 dont l'adresse du siège social :

Av Hassan II, Gueliz BP 2411, Marrakech. Tél. 0524-44-95-97, Fax 0524-44-97-93.

Annexe 2

➤ Les dates des prélèvements

Prélèvement	Station	Heures	
PR1	Barrage Sidi Driss	(le 29-05-2012)	11h35
PR2	Régulateur 0	(le 29-05-2012)	12h05
PR3	PK 30	(le 29-05-2012)	12h48
PR4	Régulateur 1	(le 30-05-2012)	01h30
PR5	Régulateur 6	(le 30-05-2012)	11h05
PR6	Régulateur 7	(le 30-05-2012)	11h30
PR7	Entrée du Bassin 520	(le 30-05-2012)	11h55
PR8	Sortie du Bassin 520	(le 30-05-2012)	12h35

➤ Les prises d'eau du canal de la Rcade

Pris	B1	Tagharghourt	B2	R1	R3
Volume (m ³)	23898064	1435320	8094518	14092346	10437224
Pris	Z1	H2	ONEP	Golf	Ceinture verte
Volume (m ³)	5166553	6343368	63203295	1260811	3217475
Pris	P3	P4	Targua+Askejour	T.aval+PMH	Perte
Volume (m ³)	19178215	37432667	4958298	5285900	10333856

1. Définitions :

a. Le pH

C'est le potentiel hydrogène, le pH mesure la concentration des ions H⁺ dans l'eau, la valeur de celui ci altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau ; des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques.

b. La température

Il est primordial de connaître la température d'une eau, en effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la détermination du pH. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau. L'augmentation de la température entraîne une diminution de la densité et de la viscosité de l'eau.

c. Les chlorures

Les ions chlorures sont parmi les principaux paramètres à analyser, ils sont responsables de la dégradation totale de la biomasse bactérienne et la flottation des boues. Peuvent causer des

dommages lorsqu'ils sont en trop grande quantité dans l'eau d'irrigation, à plus forte raison lorsque c'est par aspersion.

d. Matière en suspension :

- les matières grossières (décantables ou flottables).
- les matières en suspension (de nature organique ou minérale) qui sont des matières insolubles, fines.

Cette MES est à l'origine de nombreux problèmes comme ceux liés au dépôt de matières solide, à leur capacité d'adsorption physico-chimique ou aux phénomènes de détérioration du matériel (bouchage, abrasion, ...).

e. Dureté de l'eau :

Le titre hydrotimétrique (TH), ou dureté¹ de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium.

La dureté s'exprime en ppm w/v (ou mg/L) de CaCO₃ (USA) ou en degré français (symbole °THF) en France.

➤ **Le tableau des classifications de duretés d'eau :**

Type d'eau	°TH Français
Eau pure	0
Eau très douce	De 0 à 5
Eau douce	De 5 à 10
Eau moyennement dure	De 10 à 15
Eau dure	De 15 à 25
Eau très dure	De 30 à 40
Eau impropre	+ de 40

f. DCO

C'est la Demande Chimique en Oxygène, permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Les matières organiques consomment, en se dégradant, l'oxygène dissous dans l'eau. Elles peuvent donc être à l'origine, si elles sont trop abondantes, d'une consommation excessive d'oxygène, et provoquer l'asphyxie des organismes aquatiques. Le degré de pollution.

g. DBO5 :

La Matière Organique Biodégradable (MOB) constituée de glucides, lipides, protéines ... acides nucléiques est responsable de l'appauvrissement en dioxygène dissous dans l'eau dans laquelle on la rejette (pollution de l'écosystème rivière). La MOB d'un effluent, d'un écosystème

aquatique (biotope) peut être évaluée en mesurant la quantité de dioxygène utilisée par les microorganismes qui est nécessaire pour la dégrader.

La Demande Biochimique en Oxygène consommé en 5 jours ou DBO5 évalue donc indirectement la quantité de Matières Organiques Biodégradables présentes dans l'eau analysée.

La DBO5 est la masse d'oxygène moléculaire (exprimée en mg) utilisée par les microorganismes pour dégrader en cinq jours à 20°C et à l'obscurité (empêcher la photosynthèse) les MOB (glucides et lipides) contenues dans un litre d'eau.

➤ **Quelques techniques mécaniques de curage :**

❖ *Les pelles araignées* : Ces pelles peuvent être utilisées dans plusieurs situations : travail à partir de la berge, du lit de la rivière, dans des petites rivières ou des canaux. Ce genre de machine ne permet pas, en général, de travailler dans des zones marécageuses ou à fort envasement.

❖ *Les pelles à godets sur pontons* : Ce sont des pelles hydrauliques montées sur des barges. Généralement légèrement plus puissantes que les pelles à godet classiques, elles permettent de travailler à 20 m de distance ou de profondeur,

❖ *L'aquacat* : Il est constitué d'un flotteur principal et de trois pattes articulées. Cet engin est idéal pour les travaux et l'entretien de cours d'eau en agglomération ou pour ceux dont l'accès par la berge est impossible. Ses faibles dimensions font de lui un appareil d'appoint.

❖ *Dragues à benne preneuse* : Ces dragues sont utilisées dans des dragages d'entretien sur tout type de matériaux, et elle est bien adaptée à des dragages dans des zones difficiles telles que le long des quais.

➤ **Les réactifs chimiques injectés dans les décanteurs :**

a. Sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$

$Al_2(SO_4)_3$ est un réactif qui permet la neutralisation de la matière colloïdale par un phénomène électrostatique. Dans un pH bien déterminé, les ions Al^{3+} (chargés positivement) des sulfates d'alumine sont capables de réagir avec la boue qui représente une charge négative et d'aboutir à la formation de floc d'un poids assez important qui par l'action de la gravité se dépose au fond du décanteur. Rappelons que le pH intervient au niveau des processus de traitement de façon qu'un changement d'acidité favorise ou inhibe ces phénomènes. C'est pour cela le laboratoire intervient pour contrôler le pH des eaux à traitées à fin que les sulfates d'alumines réagissent au mieux avec la MES. Le coagulant est bon quand le pH est compris entre 5 et 9. Le pH de l'eau qui baisse à cause de l'acidité produite par les mécanismes de la coagulation doit être rectifié. Cependant l'eau brute alimentant la station de traitement de Marrakech présente un pH relativement élevé supérieur à 8,3 et par la suite l'addition du coagulant ramène le pH de l'eau vers le pH optimal pour le déroulement de la décantation. Dans le cas où les sulfates d'alumine donnent des résultats médiocres, on a recours à l'addition du polymère au niveau des décanteurs.

b. Le lait de chaux

Le lait de chaux assure la régulation du pH dans les cas extrêmes à fin de permettre le bon fonctionnement du coagulant.

c. Chlore gazeux.

La désinfection de l'eau dès son arrivée à l'usine de traitement par le chlore gazeux ou pré-chloration est nécessaire pour la protection des conduites d'eau brute et les ouvrages de clarification contre le développement des algues et des bactéries ferrugineuses ou sulfato-réductrices qui peuvent attaquer le fer des conduites métalliques. Les objectifs principaux de la désinfection par le Chlore sont :

- La désinfection primaire afin de diminuer la charge bactérienne ;
- La précipitation des composés dissous (fer, manganèse et sulfure).

Ce processus est assuré par l'injection de la solution chlorée (2kg/h de gaz chloré + eau). Au niveau de la station le chlore est stocké dans des tans de 900 kg sous forme de gaz toxique (Cl₂). En cas de fuite, la désinfection se fait par de l'eau de Javel.

d. Le charbon actif

Le charbon actif est utilisé dans le cas où l'eau à traitée dégage une odeur ou présente une couleur indésirables ; c'est un réactif qui permet de traiter des paramètres d'ordre organoleptiques en éliminant les mauvaises odeurs et de rendre l'eau limpide par voie d'adsorption.

➤ **Le coût des solutions envisagées dans le canal rocade (INGEMA) :**

Quelle que soit la solution envisagée, nous prenons en compte le fait que, dans un premier temps, le canal sera nettoyé correctement avec une mise en chômage. Compte tenu des utilisations de l'eau qu'il véhicule, cette mise en chômage se situerait entre le 15 décembre et le 15 février (période des crues). Elle devrait être facilitée par la prochaine mise en service de l'adduction de secours de la ville de Marrakech à partir des eaux du N'fis.

Il faut souligner, par ailleurs, le rôle négatif des batardeaux provisoires installés en travers du canal pour maintenir un plan d'eau suffisant au niveau des prises d'eau situés en amont. Ces batardeaux font stagner l'eau du canal, ce qui permet la décantation des particules même les plus fines.

○ Solution1 :

Du fait du débit important (20 m³/s), d'une part et la dimension réduite des particules à piéger d'autre part,

En considérant des bassins de décantation réalisés en pleine terre, avec des parois recouvertes par une géomembrane pour les protéger, de 300 m de longueur et 75 m de largeur, , décomposé comme suit :

- Décapage : 900 kDH
- Déblais : 8820 kDH
- Géotextile : 5 445 kDH
- Couche d'alluvions : 900 kDH
- Géomembrane : 9900 kDH

Le prix d'acquisition du terrain pris en compte est de 1 MDH.

Un cout d'entretien annuel des bassins, correspondant à 5% du coût de l'investissement, est pris en compte dans le calcul des coûts actualisés présenté ci-après.

La perte de charge dans les ouvrages de décantation, entre la prise et la restitution dans le canal de Rocade, nécessitera de prévoir une charge hydraulique de 1m entre l'admission et la restitution par mise en place d'un batardeau, ce qui entraînera une surélévation des berges du canal sur 4 km environ. Cette opération coutera approximativement 1,5 MDH.

○ Solution2 :

En se basant sur la vitesse de 1,5 m/h, on aura besoin d'une surface de 48 000 m², soit 3 bassins de 16 000 m², avec une profondeur utile de 2.5 m, cela donnerait un volume mouillé de 3*40 000 m³.

Cela correspond à un coût approximatif de 15 MDH.

Un coût d'entretien annuel des bassins, correspond à 0,5% du coût de l'investissement, est pris en compte dans le calcul des coûts actualisés présenté ci-après.

Le coût annuel de réactif est de **2 390 kDh/an**.

Le coût du bassin pilote de 0.7 MDH est également pris en compte.

Le coût du rehaussement des berges du canal Rocade de 1.5 MDH est pris en compte.

○ Solution3 :

On est en droit de s'attendre à récupérer la situation vécue au moment de la mise en service du canal où les problèmes de présence de matières en suspension ne se posait pas aux utilisateurs.

• Comme indiqué au premier point, lors du curage du canal en service, une partie non négligeable des dépôts serait remise en suspension ce qui gênerait davantage les utilisateurs. Il est également possible, avec un canal à sec de faire circuler les engins à l'intérieur, ce qui peut augmenter les rendements et réduire les coûts.

. En effet, l'ouvrage nécessite des travaux en ce qui concerne le génie civil et à ce titre plusieurs interruptions partielles ou totales se sont produites depuis 1986. la mise en chômage permettrait d'améliorer l'état du canal

En se basant sur les mêmes données concernant les charges de matières en suspension que dans le paragraphe précédent, Ces deux dernières solutions (1 et 3) sont comparables du point de vue du coût actualisé.

Il est à noter que pour les solutions 1 et 2, les coûts des canalisations reliant le canal de Rocade aux ouvrages de décantation de même que les coûts des canalisations servant à l'évacuation des boues liquides n'ont pas été pris en compte.

Pour la solution 2, le coût du bâtiment de stockage et de préparation du réactif et les frais de personnel n'ont pas comptabilisés.



Photo : Exemple de réseaux d'irrigation goutte à goutte